

# The American Journal of Innovative Research & Applied Sciences



[www.american-jiras.com](http://www.american-jiras.com)

## Editorial Committee.....|

### Editor in Chief: Alex brond

The members of the editorial board who participated in writing editorials, reviewing submitted articles, and commenting the October Issue 4, Volume 17 (203).

**Prof. Barouaca Hassan** | Morocco | Assistant Professor at the Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques |

**Affiliation:** | Higher Institute of Nursing Profession and Techniques of Health | Errachidia | BP: 57 ou BP:24 Errachidia 52000 | Morocco |

**Prof. Ibraheem A Alzahrani** | Al-Baha University | KSA | Associated Professor at the College of Education |

**Affiliation:** | Department of Educational Technology, Chair of IT dept and expert of E-learning in Al-Baha University | KSA | M. Mazharul Islam, Ph.D., |Associated Professor |

**Prof. Ali Mohammed Mutar** | Assistant professor | Koeit |

**Affiliation:** | Department of Chemical Engineering / Faculty of Engineering / University of Qahdisiya | Doctor in the Department of Chemical Engineering / Faculty of Engineering / University of Qadisiyah |

**Prof. Dr. Gancho Todorov Ganchev** | Blagoevgrad | Bulgaria |

**Affiliation:** | Dean, Faculty of Economics | South-West University | Blagoevgrad | Bulgaria |.

**Prof. Teodora Stefanova Kiryakova-Dineva.** | Assistant professor | Bulagaria |

**Affiliation:** | Assistant for foreign languages | Intenational Dialogue and Communication in Tourism | Common linguistics at the Departement of tourism |

**Dr., Alieza Heidari, Ph.D., D.Sc.** | USA |

**Affiliation:** | Faculty of Chemistry, California South University (CSU), Irvine, California | USA |.

**Research Interest:** |Biophysical Chemistry | Biomolecular Spectroscopy | Quantum Chemistry | Nanochemistry | Theoretical Chemistry | Mathematical Chemistry |Computational Chemistry | Vibrational Spectroscopy | Molecular Modelling |

**Prof. Boshia Joel A. | Veterinarian | Nigeria |**

**Affiliation:** | University of Agriculture | Makurdi | Nigeria |

**Prof. Fawzia Mohamed | Egypt |**

**Affiliation:** | Department of Genetic and Cytology | National Research Centre | Dokki, Cairo | Egypt |.

**Prof. Teodora Stefanova Kiryakova-Dineva. | Assistant professor | Bulagaria |**

**Affiliation:** | Assistant for foreign languages | Intenational Dialogue and Communication in Tourism | Common linguistics at the Departement of tourism |

**Ph.D., Mohammad Valipour | Iran | Lectur in Payame Noor University |**

**Affiliation:** | Payame Noor University, Tehran, Iran |

**Prof. Dr. Eng., Hamid Ali Abed AL-Asadi | IRAK | Lecturer |**

**Affiliation:** | Computer Science Department, Faculty of Education for Pure Science, Basra University, Basra, Iraq |

**Lecture Kanoun Khedoudja | Algeria |**

**Affiliation:** | Department of biology of the Faculty of the Nature Sciences and the Life | Laboratory of Molecular Microbiology Proteomics and Health | Djillali Laibés university of Sidi-Bel-Abbés 22000 | Algeria |

**Professor, ZININI Mohamed | Morocco |**

**Affiliation :** | Laboratory Natural Products, Synthesis and Molecular Dynamics, Department of Chemistry | Faculty of Sciences and Technology (FST) Errachidia | University My Ismail, Meknes, Morocco. |

**Copyright © September 2023:** All Rights Reserved. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences* are the property of Atlantic Center for Research Sciences, and is protected by copyright laws CC-BY. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

**Atlantic Center for Research Sciences : <https://www.american-iras.com/index.html>  
ISSN 2429-5396 = *American Journal of Innovative Research & Applied Sciences*.**

**ARTICLE 1.....219-224**

**NALYSE DES PRODUCTIONS CEREALIERES ET DE LEURS IMPACTS SUR L'INSECURITE ALIMENTAIRE DANS LES REGIONS RURALES DU DEPARTEMENT DE FERKESSEDOUGOU, AU NORD DE LA COTE D'IVOIRE**

**Analysis of Cereal Productions and Their Impacts on Food Insecurity in the Rural Regions of the Department of Ferkessedougou, Northern Côte d'Ivoire.** *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4):219-224. doi: 10.5281/zenodo.8413960

*Authors: | ToURE Adama 1\* | BALLE Ségbé Guy-Romarc 2 | CoULIBALY Tiécoura Hamed 1 | et | ASSI-KAUDJHIS Joseph Pierre 3 |.*

**ARTICLE 2.....225-232**

**ESSAI DE MODELISATION DE LA DEMANDE ENERGETIQUE DES MENAGES DANS UNE AGGLOMERATION A FORTE CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE : CAS DE LA VILLE D'ABIDJAN (COTE D'IVOIRE)**

**Modeling Test Of Household Energy Demand In An Agglomeration With High Population Growth: Case Of The City Of Abidjan (Côte D'Ivoire).** *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4):225-232. doi: 10.5281/zenodo.8413833

*Authors: | Diakalia DIARRASSOUBA |.*

**ARTICLE 3.....233-240**

**ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIES A LA QUALITE DE L'EAU DE PLUIE STOCKEE DANS UNE CITERNE EN BETON : ETUDE DE CAS A IVORY AVARATRA, FIANARANTSOA, MADAGASCAR**

**EVALUATION OF HEALTH RISKS RELATED TO THE QUALITY OF RAINWATER STORED IN A CONCRETE CISTERN: A CASE STUDY IN IVORY AVARATRA, FIANARANTSOA, MADAGASCAR.** *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4):233-240

*Authors: | Andry Harinaina, Rabearisoa 1\* | Ravo Victoire, Nasolomampionona 1 | Bertrand, Manjolongo 1 | Bruno, Razanamparany 2 | Nasolo Sedravola, Randimbiarison 3 | Miharisoa Anasthasie, Jibo 3 | Tolojanahary Sandra, Fidiarilanto 3 | et | Hajandrainy Rabearisoa 3 |..*

**ARTICLE 4.....241-248**

**NAVIGATING THE PEDAGOGICAL LANDSCAPE: STATISTICAL ANALYSIS OF TEACHING STRATEGIES IN ENGLISH LANGUAGE EDUCATION** *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4):241-248.

*Authors: | Moinuddin 1 | and | Mohammed Ehsan Ullah Shareef 2 \* |.*

**ARTICLE 5.....249-252**

**RESTAURATION DES RUES ET RISQUES SANITAIRES DANS LA COMMUNE D'ABOMEY-CALAVI, AU SUD DU BENIN, EN AFRIQUE DE L'OUEST**

**STREET RESTORATION AND SANITARY RISKS IN THE MUNICIPALITY OF ABOMEY-CALAVI, SOUTHERN BENIN, WEST AFRICA.**

*Authors: | Bai Dodji Laurenda Carmen GNELE 1 | Pierre OUASSA 1\* | Expédit Wilfrid VISSIN 1 | et | Moussa GIBIGAYE 2 |.*

**ARTICLE 6.....253-258**

**ÉTUDE PETROGRAPHIQUE DES ROCHES CARBONATEES DE LAREGION DE MANONO (TANGANYIKA, REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DUCONGO) : IMPLICATIONS POUR LA COMPREHENSION DE LA GEOLOGIEREGIONALE**  
**PETROGRAPHIC STUDY OF CARBONATE ROCKS IN THE MANONOREGION (TANGANYIKA, DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO):IMPLICATIONS FOR REGIONAL GEOLOGICAL UNDERSTANDING.**

Authors: | Aganze Birindwa Mirobolant 1\* | Ken Yumba Musoya Lenge 1 | Bwira Mahimba James 1 | Kongolo KilubaCarmel 1 | et | Mwamba Kayenga Jean 1 |.

**ARTICLE 7.....259-266**  
**COHABITATION UNITES INDUSTRIELLES ET HABITATIONS : CAS DE LA ZONE INDUSTRIELLE DE YOPOUGON ET LE QUARTIER GESCO (ABIDJAN, COTE D'IVOIRE)**

COHABITATION OF INDUSTRIAL UNITS AND HOUSING: THE CASE OF THE YOPOUGON INDUSTRIAL ZONE AND THE GESCO DISTRICT (ABIDJAN, IVORY COAST)

Authors: | KOUASSI Patrick Juvet |

**ARTICLE 8.....267-276**  
**A COMPUTATIONAL STUDY ON THE MAGNETIC PROPERTIES OF VANADIUM LAYERS ON NIOBIUM SUBSTRATES: EFFECTS OF SURFACE ORIENTATION, RELAXATION, AND ELECTRONIC STRUCTURE**

Authors: | Dimbimalala, Randrianasoloharisoa 1 | Andry Nirina, Randrianarisoa 1 | and | Fils, Lahatra Razafindramisa 1 |.

**ARTICLE 9.....277-285**  
**INFLUENCE OF PH ON BIOACCUMULATION OF PERFLUOROALKYL SUBSTANCES IN DAPHNIA MAGNA EXPOSED TO MODEL PROTEINS**

Authors: | Andry Harinaina, Rabearisoa 1,2\* | Hajandrainy, Rabearisoa 2 | and | Xinghui, Xia 3 |.

**ARTICLE 10.....285-293**  
**CARACTERISATION DES MODES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DES POPULATIONS RIVERAINES DU LAC NOKOUE DANS LE 6ième ARRONDISSEMENT DE COTONOU AU BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST**

CHARACTERIZATION OF WATER SUPPLY METHODS FOR THE POPULATIONS BORDERING LAKE NOKOUE IN THE 6th ARRONDISSEMENT OF COTONOU IN BENIN, WEST AFRICA

Authors: | | Satognon Florent HOUESSOU |.

**ARTICLE 11.....294-303**  
**ÉVALUATION DE LA CONTAMINATION DE L'EAU DE SOURCE PAR DES POLLUANTS ENVIRONNEMENTAUX : CAS D'AMBOHIDRAMASY, QUARTIER AMBATOHARANANA, MADAGASCAR**

ASSESSMENT OF CONTAMINATION OF SPRING WATER BY ENVIRONMENTAL POLLUTANTS: THE CASE OF AMBOHIDRAMASY, AMBATOHARANANA DISTRICT, MADAGASCAR

Authors: | Andry Harinaina, Rabearisoa 1\* | Nalinirina Tantely, Rabemiafara 1 | Bertrand, Manjolongo 1 | Sarobidy Placide, Randriamanantena 1 | Viviane, Harinandrasana 1 | Ravo Victoire, Nasolomampionona 1 | Hajandrainy, Rabearisoa 1 | Mbolanirina Mamisoa, Rabemiafara 1 | Bruno, Razanamparany 2 | Nasolo Sedravola, Randimbiarison 3 | et | Lazanirina Henintsoa, Rabemiafara 4 |.

**ARTICLE 12.....304-311**  
**ANALYSE DE LA GESTION ET DE L'EXPLOITATION DE LA MANGROVE A SONFONIA-CONAKRY (GUINEE)**

Authors: | Daouda KONATE 1\* | Moussa KEITA 2 | Sâa Moussa KAMANO 1 | et | Célestin Zoba SOROPOGUI 1 |.

**ARTICLE 13.....312-316**

**SPATIAL DISTRIBUTION OF CHLORIDE IONS IN GROUNDWATER USING KRIGING INTERPOLATION: A CASE STUDY IN AL-SHAMMIS, SYRIA**

*Authors: | Ezzat Harba 1\* | and | Nisreen, KHALLOUF 2 |.*

**ARTICLE 14.....317-322**

**ROLE OF MARSUPIALIZATION IN MANAGEMENT OF PEDIATRIC ODONTOGENIC CYSTS: TWO CASE REPORTS**

*Authors: | | Fatima Zahra, Kaiss 1\* | Maria, Mtalsi 1 | and | Samira, El Arabi 1 |.*

**ARTICLE 15.....323-328**

**EFFETS DU BIOCHAR DE RÉSIDUS D'ANACARDE SUR LA PRODUCTIVITÉ DE LA CULTURE DE LUFFA AU NORD DE LA COTE D'IVOIRE**

**EFFECTS OF CASHEW NUT RESIDUE BIOCHAR ON LUFFA PRODUCTIVITY IN NORTHERN COTE D'IVOIRE**

*Authors: | | Jean-Baptiste Gnélié Gnahoua | Marie-Luce Mâ Semba Ouattara | Zonlehoua Coulibali \* | N'Djечи Benian Françoise Kablan | and | Loua Barthélémy Diomandé |.*

**ARTICLE 16.....329-335**

**EVALUATION DES RISQUES LIES A L'APPROVISIONNEMENT EN EAU A AKEIKOI : CAS DE LA COMMUNE D'ABOBO - CÔTE D'IVOIRE)**

**ASSESSMENT OF WATER SUPPLY RISKS IN AKEIKOI: THE CASE OF THE MUNICIPALITY OF ABOBO - CÔTE D'IVOIRE)**

*Authors: | Djaliah Florence AKE-AWOMON |.*

This issue is made freely available as part of this journal's Open Archive.  
American Journal of Innovative Research and Applied Sciences  
Volume 17, Issue 4, Pages 219-335 (October, 2023)  
Total of article: 16



*The journal aims to encourage all researchers, PhD, Students and physicians from all fields to publish results that challenge current models, tenets or dogmas. The American Journal of Innovative Research and Applied Sciences aims to give all researchers equal opportunity to share ideas, develop their career and for their work to have greater impact around the world.*

**Copyright © October 2023:** All Rights Reserved. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences* are the property of Atlantic Center fo Research Sciences, and is protected by copyright laws CC-BY. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

*Atlantic Center for Research Sciences* ; <https://www.american-jiras.com/index.html>  
**ISSN 2429-5396 = American Journal of Innovative Research & Applied Sciences.**

## Editor's Word:

Welcome to the AJIRAS Journal, Volume 17, Issue 4 for the year 2023. We are thrilled to present an exceptional collection of articles that delve into a diverse range of subjects, reflecting the latest advancements and research in various fields. The articles featured in this issue cover a wide spectrum of disciplines, including environmental science, health, genetics, engineering, and agriculture.

We extend our sincere appreciation to the authors for their valuable contributions to this issue. Their dedication and commitment to advancing scientific knowledge are truly commendable. The rigorous research and insightful findings presented in these articles are a testament to their expertise and passion for their respective fields.

We invite readers to immerse themselves in the wealth of knowledge presented within these articles, exploring the innovative methodologies, compelling insights, and thought-provoking discoveries put forth by the diligent researchers. Our hope is that this edition of the AJIRAS Journal will serve as a catalyst for intellectual curiosity, inspiring further research and scholarly discourse. It is our belief that the findings and discussions within these pages will contribute significantly to the advancement of scientific knowledge and the betterment of society.

We encourage you to delve into the captivating content of this issue and engage with the groundbreaking research presented by our esteemed contributors. May this edition of the AJIRAS Journal spark new ideas, stimulate critical thinking, and pave the way for future breakthroughs in the scientific community.

Happy reading!

# ANALYSE DES PRODUCTIONS CEREALIERES ET DE LEURS IMPACTS SUR L'INSECURITE ALIMENTAIRE DANS LES REGIONS RURALES DU DEPARTEMENT DE FERKESSEDOUGOU, AU NORD DE LA COTE D'IVOIRE



Analysis of Cereal Productions and Their Impacts on Food Insecurity in the Rural Regions of the Department of Ferkessedougou, Northern Côte d'Ivoire

| TOURE Adama <sup>1\*</sup> | BALLE Ségbé Guy-Romarc <sup>2</sup> | COULIBALY Tiécoura Hamed <sup>1</sup> | et | ASSI-KAUDJHIS Joseph Pierre <sup>3</sup> |

<sup>1</sup>. Département de Géographie | Université Peleforo GON COULIBALY | Korhogo, Côte d'Ivoire |

<sup>2</sup>. Institut de Gestion Agropastorale | Université Peleforo GON COULIBALY | Korhogo, Côte d'Ivoire |

<sup>3</sup>. Département de Géographie | Université Alassane OUATTARA | Bouaké, Côte d'Ivoire |

DOI: 10.5281/zenodo.8413960 | Received August 07, 2023 | Accepted September 25, 2023 | Published October 01 2023 | ID Article: Adama-Ref2-3-17ajiras070923 |

## RESUME

**Introduction :** Cette étude porte sur le thème « Analyse des productions céréalières et leurs impacts sur l'insécurité alimentaire dans les régions rurales du département de Ferkessedougou, au Nord de la Côte d'Ivoire ». **Objectif :** Cette étude vise à apprécier la contribution des productions céréalières dans l'amélioration de la situation de la sécurité alimentaire des cultivateurs du département de Ferkessedougou. **Méthodes :** L'étude est fondée sur l'enquête par questionnaire auprès de 79 paysans choisis au hasard par une méthode probabiliste, dans 9 villages repartis dans deux sous-préfectures. **Résultats :** La majorité (59,49%) des producteurs vendent une partie de leurs productions céréalières, pour la satisfaction de besoins divers. Le volume de ces ventes peut avoisiner les 3/4 de la production, pour certains producteurs (13,92%). L'importance et le volume de cette pratique marchande est préjudiciable aux réserves céréalières attribuées à la consommation familiale. Ainsi, 68,35% des producteurs voient leurs réserves alimentaires s'épuiser avant les récoltes prochaines. Si ce constat est une réalité pour l'ensemble du département, les producteurs de la sous-préfecture de Ferkessedougou (79,66%) y sont plus exposés que ceux de Koumbala (35%). **Conclusion :** L'épuisement précoce des réserves alimentaires constitue un risque d'insécurité alimentaire dans les zones rurales étudiées, même si le déstockage de biens et bétails demeure une alternative pour certains producteurs qui achètent des vivres en période de soudure. **Mots clés :** Département de Ferkessedougou, Insécurité alimentaire, Période de soudure, Productions céréalières.

## ABSTRACT

**Introduction:** This study focuses on the theme "Analysis of cereal production and its impacts on food insecurity in rural regions of the Ferkessedougou department, in the north of Côte d'Ivoire". **Objective:** This study aims to assess the contribution of cereal production in improving the food security situation of farmers in the department of Ferkessedougou. **Methods:** The study is based on a questionnaire survey of 79 farmers randomly selected using a probabilistic method, in 9 villages located in two sub-prefectures. **Results:** The majority (59.49%) of producers sell a portion of their cereal production to meet various needs. The volume of these sales can amount to 3/4 of the production for some producers (13.92%). The importance and volume of this marketing practice is detrimental to cereal reserves allocated for family consumption. Thus, 68.35% of producers see their food reserves run out before the next harvest. If this finding is a reality throughout the department, producers in the sub-prefecture of Ferkessedougou (79.66%) are more exposed than those of Koumbala (35%). **Conclusion:** The premature depletion of food reserves constitutes a risk of food insecurity in the rural areas studied, even if the sale of goods and cattle remains an alternative for some producers who buy food during the lean season.

**Keywords:** Ferkessedougou department, Food insecurity, lean season, Cereal production.

## 1. INTRODUCTION

L'agriculture, un pilier essentiel dans la lutte contre la pauvreté et la préservation de la sécurité alimentaire, joue un rôle incontestable selon la Banque Mondiale [1] (2008, p. 3). À l'échelle mondiale, les terres agricoles consacrées à la culture des céréales s'étendent sur une superficie de 700 millions d'hectares, représentant ainsi 49 % des terres arables, 14 % de la surface agricole mondiale et 5 % de la masse terrestre globale [2] (Passion Céréales, 2019, p. 7). Les principaux acteurs de la production céréalière à l'échelle planétaire incluent la Chine, les États-Unis, l'Union Européenne, l'Inde, le Brésil et la Russie. De manière substantielle, les céréales apportent une part considérable, soit 45 %, de la valeur énergétique totale de l'alimentation humaine, et, conjointement avec les légumineuses, elles contribuent à plus de deux tiers de l'apport calorique en Afrique subsaharienne [3] (Cruz et al, 2019, p. 9).

L'Afrique, où la majorité des petits agriculteurs pratique une agriculture de subsistance, se positionne au cœur de l'origine et de la production de diverses céréales. Le riz, le maïs, le mil et le sorgho, parfois associés au haricot, au niébé ou à l'arachide, forment généralement le socle alimentaire des populations tant urbaines que rurales.

Cependant, malgré une croissance de la production céréalière, l'Afrique de l'Ouest s'est progressivement retrouvée dépendante des importations pour satisfaire sa demande intérieure, entraînant ainsi un écart croissant entre la structure de la demande et celle de l'offre. Par ailleurs, sur les 821 millions de personnes souffrant de la faim dans le monde en



2018, près de 31 % résidaient en Afrique subsaharienne. La Côte d'Ivoire, située dans cette région, ne fait pas exception à cette réalité. En effet, en 2021, plusieurs marchés du District Autonome des Savanes, situé dans la zone Nord du pays, ont été confrontés à une crise de pénurie de produits céréaliers, en particulier le riz et le maïs [4] (FAO et al 2022, p.10). Ces situations de déficit de production ont été observées dans le département de Ferkessédougou, malgré sa réputation de forte productrice de céréales. De plus, selon le Conseil National pour la Nutrition, l'Alimentation et le Développement de la Petite Enfance (CNAPE) et l'Institut National de Statistique (INS) [5] (2021, p.58), le département de Ferkessédougou figure parmi les zones à fort indice de pauvreté en Côte d'Ivoire. Ces constats suscitent une question fondamentale : les productions céréalères locales parviennent-elles à répondre aux besoins alimentaires des cultivateurs du département de Ferkessédougou ? C'est dans le dessein de répondre à cette question que notre étude, intitulée "Analyse des productions céréalères et leurs impacts sur l'insécurité alimentaire dans les régions rurales du département de Ferkessédougou, au Nord de la Côte d'Ivoire", trouve sa justification. L'objectif général de cette recherche consiste à analyser la contribution des productions céréalères à l'amélioration de la sécurité alimentaire des cultivateurs au sein du département de Ferkessédougou, apportant ainsi une perspective scientifique à ce problème crucial.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1 Zone d'étude

L'étude a été menée dans deux sous-préfectures (Ferkessédougou et Koumbala) du département de Ferkessédougou, situé dans le nord de la Côte d'Ivoire (Figure 1).

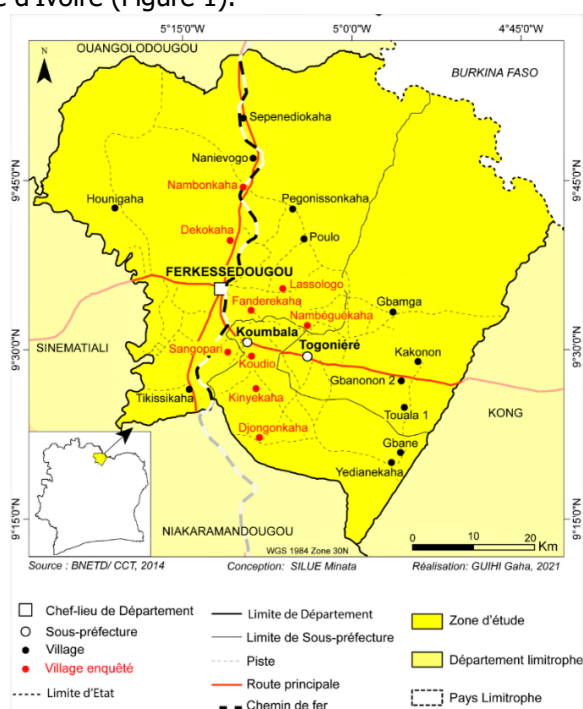


Figure 1 : Localisation du département de Ferkessédougou.

### 2.2. Méthodologie de l'enquête

La méthodologie utilisée dans cette étude repose sur une enquête par questionnaire, précédée d'une recherche bibliographique approfondie. L'enquête a été menée dans deux sous-préfectures du département de Ferkessédougou en janvier 2023 : Ferkessédougou et Koumbala.

### 2.3 Échantillonnage

La population cible était composée de 79 producteurs céréaliers recensés et organisés en coopératives dans plusieurs villages. Un échantillonnage aléatoire stratifié a été réalisé avec un taux de sondage de 10%, aboutissant à un échantillon de 79 producteurs répartis dans 9 villages (Tableau 1).

Tableau 1 : Répartition des producteurs enquêtés.

Sous-Préfecture	Village	Nombre de producteurs enquêté	Total
Ferkessédougou	Dekokaha	19	59
	Nambonkaha	9	
	Fanderekaha	7	
	Lassologo	11	
	Nambaguekaha	5	
Koumbala	Songopari	8	20
	Kinyekaha	7	
	Koudio	4	
	Djongonkaha	9	
	<b>TOTAL</b>	<b>79</b>	

## 2.4 Collecte de données complémentaires

En plus de l'enquête par questionnaire, des données secondaires ont été mobilisées à partir des écrits de Silué (2020, pp 28-34) ainsi que du Conseil National pour la Nutrition, l'Alimentation et le développement de la Petite Enfance (CENNAPE) et de l'Institut National de Statistique (INS) [5] (2021, p 58). Des entretiens ont également été réalisés avec les responsables des groupements et les chefs coutumiers des villages enquêtés.

## 2.5 Contenu du questionnaire

Le questionnaire portait sur les différentes céréales cultivées et consommées par les producteurs, l'importance et le volume des ventes, ainsi que l'abondance et la répartition temporelle des réserves céréalières destinées à la consommation familiale.

## 2.6 Traitement des données

Le dépouillement et le traitement des données collectées sur le terrain ont été effectués à l'aide du logiciel Excel, ce qui a permis d'élaborer des proportions et des moyennes dans des tableaux. De plus, le logiciel Arcgis 10.2.2 a été utilisé pour créer la carte de localisation de la zone d'étude.

# 3. RESULTATS

## 3.1. Une agriculture vivrière à dominance céréalière

Dans le département de Ferkessédougou, l'agriculture vivrière repose sur quatre cultures, à savoir le riz, le maïs, le sorgho et l'igname. L'importance de ces différentes cultures se perçoit à travers le tableau 2 ci-dessous.

**Tableau 2 :** Proportion de producteurs pratiquant les différentes cultures selon les sous-préfectures.

Sous-Préfecture	Riz	Mais	Sorgho	Igname
Ferkessédougou	100%	100%	6,33%	1,26%
Koumbala	100%	100%	0%	0
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>6,33%</b>	<b>1,3</b>

La lecture du tableau 2 montre que le riz et le maïs sont les deux cultures céréalières majeures du département de Ferkessédougou. Elles sont pratiquées par tous les producteurs dans les deux sous-préfectures étudiées dudit département. Les cultures du sorgho et de l'igname sont notées dans la seule sous-préfecture de Ferkessédougou (respectivement 6,33% et 1,26% des producteurs). En plus d'être les cultures vivrières les plus pratiquées par les agriculteurs du département, le riz et le maïs sont les denrées les plus consommées par ceux-ci, comme l'atteste le tableau 3.

**Tableau 3 :** Proportion des producteurs selon la denrée la plus consommée par sous-préfecture.

Sous-Préfecture	Riz	Mais
Ferkessédougou	27,11%	72,89%
Koumbala	10%	90%
<b>Total</b>	<b>22,78%</b>	<b>77,22%</b>

Le tableau 3 révèle que le maïs et le riz sont les cultures vivrières les plus consommées par les producteurs du département de Ferkessédougou. Les producteurs dont le régime alimentaire est dominé par le maïs représentent 77,22% de l'ensemble des producteurs du département contre 22,78% en faveur du riz. La tendance à la dominance du maïs dans les habitudes alimentaires s'observe également à l'échelle des sous-préfectures de Ferkessédougou et Koumbala. Dans la sous-préfecture de Ferkessédougou, le maïs est l'aliment la plus consommé par les producteurs que le riz avec un taux de 72,89% contre 27,11% pour le riz. A Koumbala, 90% des producteurs consomment plus le maïs contre 10% pour le riz. En plus de leur fonction alimentaire, les céréales jouent un rôle dans l'amélioration des revenus des producteurs.

## 3.2. Une répartition des productions céréalières préjudiciable à la sécurité alimentaire

### 3.2.1. La vente des productions céréalières, une pratique qui retient la majorité des producteurs

L'étude a montré que les producteurs du département de Ferkessédougou allouent une partie de leur production à la vente et une autre partie à l'autoconsommation. Cette étude montre que bon nombre de producteurs vendent une partie de leurs productions céréalières. La répartition selon l'utilisation des productions céréalières est consignée dans le tableau 4.

**Tableau 4 :** Proportion des producteurs selon l'utilisation des productions céréalières.

Sous-Préfecture	Autoconsommation unique	Vente/autoconsommation
Ferkessédougou	38,99%	61,01%
Koumbala	42,11%	57,89%
<b>Total</b>	<b>40,51%</b>	<b>59,49%</b>

Les résultats révèlent qu'à l'échelle départementale, les producteurs qui partagent leurs productions entre l'autoconsommation et la vente représentent 59,49% contre 40,51%. Au niveau des sous-préfectures, la tendance est similaire. En effet, dans les sous-préfectures de Ferkessédougou et Koumbala, la majorité des producteurs (61,01% et 57,89%) partagent leur production entre la vente et l'autoconsommation contre respectivement 38,99% et 42,11% qui affectent exclusivement les productions céréalières à l'autoconsommation. Le volume des ventes varie d'un producteur à un autre. Dans l'optique d'évaluer ce volume nous avons défini trois intervalles selon les quantités vendues. Il s'agit des intervalles  $[0, 1/4[$  où les quantités vendues sont inférieures au quart de la production ;  $[1/4, 1/2[$  avec des volumes de ventes compris entre le quart et la moitié des productions et  $[1/2, 3/4[$  pour les producteurs qui vendent plus de la moitié de leurs productions (tableau 5).

**Tableau 5 :** Proportion des producteurs selon l'importance des ventes céréalières.

Sous-Préfecture	Importance des ventes		
	$[0, 1/4[$	$[1/4, 1/2[$	$[1/2, 3/4[$
Ferkessédougou	25,42%	25,42%	10,17%
Koumbala	12,89%	20%	25%
<b>Total</b>	<b>21,52%</b>	<b>24,05%</b>	<b>13,92%</b>

Le tableau 5 révèle que dans la sous-préfecture de Ferkessédougou les producteurs qui vendent moins du quart et entre le quart et la moitié de leur production sont en tête avec un taux de 25,42%, suivis de ceux qui réservent plus de la moitié de leur production (10,17%) à la vente. Dans la sous-préfecture de Koumbala, les producteurs qui vendent plus de la moitié de leurs productions sont plus nombreux (25%). A l'échelle départementale, les producteurs qui réservent entre le quart et la moitié de leurs récoltes céréalières à la vente occupent la première place avec un taux de 24,05% suivis de ceux qui y réservent moins du quart soit 21,52% et de ceux qui réservent plus de la moitié soit 13,92%.

### 3.2.2. L'insuffisance des productions de céréales allouées à l'autoconsommation

Après les ventes, la part des productions céréalières destinée à l'autoconsommation ne parvient pas à couvrir les besoins alimentaires des agriculteurs du département de Ferkessédougou. En effet, la majorité des producteurs attestent que ces productions ne couvrent pas la totalité de leurs besoins alimentaires. Le tableau 6 présente la proportion des agriculteurs dont les productions allouées à la consommation familiale ne satisfont pas les besoins alimentaires.

**Tableau 6:** Proportion des agriculteurs dont les productions allouées à la consommation familiale ne couvrent pas les besoins alimentaires.

Sous-Préfecture	Producteurs dont les réserves de production céréalières sont insuffisantes
Ferkessédougou	79,66%
Koumbala	35%
<b>Total</b>	<b>68,35%</b>

A l'analyse du tableau 6, l'on constate qu'à l'échelle départementale, la majorité des producteurs (68,35%) ne parvient pas à s'auto-suffire avec les réserves céréalières allouées à la consommation familiale. A l'échelle des sous-préfectures, à Ferkessédougou, la majorité des agriculteurs (79,66%) attestent que les productions céréalières sont insuffisantes pour les besoins alimentaires. A Koumbala par contre, les réalités sont différentes car les producteurs insatisfaits de leur réserves céréalières sont minoritaires (35%).

### 3.3. Stratégies de compensation des déficits et risques d'insécurité alimentaire

L'insuffisance des productions céréalières allouées à la consommation familiale a un impact sur la sécurité alimentaire des ménages. Si la diversification des cultures est pratiquée dans la zone pour assurer la sécurité alimentaire, les producteurs ont surtout recours à l'achat des céréales importées pour traverser la période de soudure (tableau 7).

**Tableau 7 :** Proportion des producteurs qui compensent les insuffisances avec des productions céréalières importées selon les périodes.

Sous-Préfecture	Période		
	Octobre à Décembre	Janvier à Mars	Avril à Septembre
Ferkessédougou	11,86%	18,64%	49,15%
Koumbala	0%	0%	35%
<b>Moyenne</b>	<b>8,86%</b>	<b>12,67%</b>	<b>46,83%</b>

Le Tableau 7 révèle que les producteurs achètent des céréales au cours de trois périodes distinctes : d'octobre à décembre, de janvier à mars et d'avril à septembre. Ces trois périodes correspondent respectivement aux périodes de récolte, de post-récolte et de soudure. Dans l'ensemble du département, le recours à l'achat de céréales s'intensifie pendant la période d'avril à septembre (46,83 % des producteurs), qui coïncide avec la période de soudure. Cette pratique est moins courante pendant la période d'octobre à décembre (8,86 % des producteurs) et celle de janvier à mars (12,67 %). En analysant les statistiques, on constate que cette tendance départementale se reflète également dans les sous-préfectures. Cependant, dans la sous-préfecture de Koumbala (35 %), un pourcentage moins élevé de producteurs recourent à des achats compensatoires pendant la période de soudure par rapport à Ferkessédougou (49,15 %), où près de la moitié des producteurs adoptent cette pratique.

### 3. DISCUSSION

La présente étude montre que dans le département de Ferkessédougou, tous les producteurs interrogés cultivent des céréales, en particulier le riz et le maïs. Ceci souligne l'importance des productions céréalières dans cette région, comme l'ont montré précédemment les recherches de Yéo et al., (2018, p. 107) [6]. Ces résultats corroborent également les constatations de Chaléard (1996, p. 117) [7] dans le même département, qui attestent que cette région fait partie des zones de forte production céréalière en Côte d'Ivoire. Cependant, contrairement à l'étude de Chaléard (1996, p. 114) [7] qui plaçait les productions rizicoles en quatrième position après le maïs, le mil et le sorgho, notre recherche montre un repositionnement de la culture du riz et un déclin de celles du mil et du sorgho dans l'espace étudié. En outre, notre étude révèle que le riz et le maïs sont non seulement cultivés par tous les agriculteurs, mais représentent également les denrées les plus consommées par ces derniers dans le département. Cette prédominance du maïs et du riz dans l'agriculture et les habitudes alimentaires a déjà été observée à une échelle plus large. En effet, selon Traoré (2020, p. 262) [8], la production régionale des pays sahéliens et de l'Afrique de l'Ouest est maintenant dominée par le riz et le maïs, en remplacement du sorgho et du mil qui étaient autrefois les principales céréales cultivées dans la région. Ainsi, ces deux cultures contribuent de manière significative à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté dans cette région, qui fait partie des zones à fort indice de pauvreté en Côte d'Ivoire [5] (Conseil National pour la Nutrition, l'Alimentation et le Développement de la Petite Enfance et Institut National de la Statistique, 2021, p. 58). La fonction alimentaire des céréales, en particulier du riz, dans la vie quotidienne des agriculteurs est démontrée par les études de Touré (2018, p. 178) [8] dans une région voisine. En outre, la prédominance du maïs dans les habitudes alimentaires de la majorité (77,22 %) des producteurs par rapport au riz (22,78 %) peut s'expliquer par le fait que cette denrée est la céréale la plus cultivée dans ce département [10,7,11].

Outre leur fonction alimentaire, les céréales contribuent à l'amélioration du revenu des agriculteurs de Ferkessédougou. En effet, la majorité d'entre eux vendent une partie de leurs productions céréalières sur le marché local. Comme l'a souligné Chaléard (1996, p. 117) [7], l'ampleur de la demande, due à la croissance rapide de la population urbaine, est un facteur clé de l'essor du commerce des produits vivriers. Le caractère commercial des productions céréalières est également mis en évidence dans les études de Touré (2018, p. 304) [9] menées dans une région voisine. Les résultats indiquent que davantage de producteurs pratiquent la vente de leurs productions céréalières dans la sous-préfecture de Ferkessédougou (61,01 %) que dans celle de Koumbala (57,68 %), en raison de la présence d'aménagements hydro-agricoles dans la localité de Dekokaha, qui permettent deux cycles de production par saison. En effet, comme l'ont attesté les travaux de Silué (2012, p. 311) [12], le barrage de Dekokaha, construit depuis 1973, joue un rôle actif dans la production céréalière des agriculteurs. L'excédent de production dans cette localité et la demande croissante des zones urbaines encouragent la pratique accrue de l'agriculture commerciale par les agriculteurs.

Si la pratique de l'agriculture commerciale des céréales dans le département de Ferkessédougou améliore les revenus des agriculteurs, elle crée un déséquilibre dans les réserves destinées à l'autoconsommation. Ce déséquilibre constitue un risque pour la sécurité alimentaire des ménages ruraux. En effet, la majorité (68,35 %) des agriculteurs estime que les réserves pour l'autoconsommation sont insuffisantes. Cela découle en partie de la vente d'une partie de la production. Ces résultats confirment les constatations de Silué (2020, p. 29) [10] concernant la culture du riz dans le département de Ferkessédougou, où certains producteurs vendent jusqu'à 75 % de leur production au détriment de la consommation familiale. La répartition des déficits de réserves varie d'un département à l'autre. Contrairement à la sous-préfecture de Ferkessédougou (79,66 %) où la majorité des producteurs est concernée, peu de producteurs de la sous-préfecture de Koumbala (35 %) signalent ces déficits. Cela suggère que les producteurs de Koumbala gèrent mieux la répartition de leurs productions céréalières entre l'autoconsommation et la vente.

Il est difficile de quantifier les réserves céréalières des ménages en raison des variations d'une année à l'autre. Cependant, les recherches de Silué (2020, p. 27) [10] indiquent que la demande moyenne de riz des ménages en 2020 a été couverte par la production moyenne de riz dans la région étudiée. En prenant également en compte la production de maïs, on peut en déduire que les productions céréalières dans le département de Ferkessédougou sont abondantes, d'autant plus que selon Ndabalishye (1995, p. 297) [13], la Côte d'Ivoire est autosuffisante pour tous les produits alimentaires traditionnels à l'exception du riz, et que le département de Ferkessédougou est une grande zone de production de maïs [10,7,5] (Silué, 2020, p. 25-26 ; Chaléard, 1996, p. 117 ; INS, 2001, p. 22). Il semble donc que le déficit en réserves soit principalement lié à la gestion. En plus des ventes, Janin (2003, p. 10) [14] mentionne les dons et la surconsommation lors des festivités comme des facteurs contribuant à la diminution des stocks tout au long de l'année, ce qui pose un risque pour la sécurité alimentaire.

Pour compenser les déficits, les producteurs ont recours à l'achat de vivres sur les marchés. La proportion de producteurs pratiquant cette compensation varie selon les mois. Trois périodes de compensation sont identifiées en fonction des mois. La première, d'octobre à décembre, correspond à la période de récolte. Au cours de cette période, une minorité de producteurs (8,86 %), confrontée à des récoltes tardives, achète des vivres avant le début de la récolte. La deuxième période, de janvier à mars, voit davantage de producteurs (12,67 %) acheter des vivres, car leurs réserves alimentaires s'épuisent rapidement. Enfin, la période d'avril à septembre correspond à la période de soudure dans la plupart des ménages agricoles. Près de la moitié des paysans (46,83 %) font face à l'épuisement de leurs réserves céréalières et achètent des vivres pour compenser les déficits. Cependant, il convient de noter que le commerce des céréales pendant

cette période revêt un caractère spéculatif. Certains commerçants stockent des produits achetés à des prix abordables pendant la période de récolte pour les revendre plus cher pendant la période de soudure, compte tenu de la dépendance temporelle des ménages ruraux vis-à-vis du marché. Cette réalité, qui accentue la difficulté de la période de soudure, constitue un risque pour la sécurité alimentaire dans la région. Parfois, le déstockage de certains biens et du bétail, pour ceux qui en possèdent, est nécessaire pour faire face à cette situation, comme en témoignent les recherches de Janin (2003, p. 10) [14].

#### 4. CONCLUSION

Cette étude montre que le riz et le maïs sont devenus les principales cultures céréalières du département de Ferkessédougou, où ils jouent un rôle alimentaire essentiel. Mais la vente d'une partie de la récolte, parfois jusqu'aux 3/4 de la production, entraîne des déficits de stocks pour la consommation familiale. Ainsi, 68% des producteurs font face à une insuffisance des réserves avant la récolte suivante, accentuée à Ferkessédougou (80%). Pour compenser, les producteurs achètent des céréales, surtout entre avril et septembre, période de soudure propice à la spéculation sur les prix. Ces déficits de stocks et achats onéreux sur les marchés constituent des risques pour la sécurité alimentaire dans cette région rurale pauvre. Une meilleure répartition des volumes de production entre autoconsommation et vente s'avère nécessaire.

#### 5. REFERENCES

1. Banque Mondiale. L'agriculture au service du développement, Rapport sur le développement du monde. Washington, DC: World Bank; 2008. 36 p.
2. Passion Céréales. Des chiffres et des céréales, Édition 2019. Paris: Passion Céréales; 2019. 21 p.
3. Cruz JF, Hounhouigan DJ, Havard M, Ferré T. La transformation des grains. Collection Agricultures tropicales en Poche. Versailles, Gembloux, Wageningen: Quae, Presses agronomiques de Gembloux, CTA; 2019. 201 p.
4. FAO, FEW NET, PAM. Situation des marchés pour le premier trimestre de 2022. Rome: FAO; 2022. 17 p.
5. Conseil National pour la Nutrition, l'Alimentation et le développement de la Petite Enfance, Institut National de la Statistique. Synthèse des études réalisées de 2016 à 2020 en Côte d'Ivoire dans le domaine de la nutrition. Abidjan: CNNAPE, INS; 2021. p. 80.
6. Yeo L, Ouattara ZS, Koné M. Les jardins familiaux, un apport à la sécurité alimentaire des ménages dans la ville de Ferkessédougou (Nord de la Côte d'Ivoire). *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*. 2018;(1):102-9.
7. Chaléard JL. Temps de villes, temps des vivres, L'essor du vivrier marchand en Côte d'Ivoire. Paris: Karthala; 1996. 682 p.
8. Traoré SMA, Oumarou DH, Issoufou B, Balla A. Offre et demande en céréales au Sahel et en Afrique de l'Ouest. *Agronomie Africaine*. 2020;32(3):251-64.
9. Toure A. Perturbation socio-environnementale et développement rizicole: Cas de la Région du Poro [thèse de doctorat]. Bouaké: Université Alassane Ouattara; 2018. 418 p.
10. Silué M. Productions rizicoles et sécurité alimentaire des producteurs dans le département de Ferkessédougou [mémoire de licence]. Korhogo: Institut de Gestion Agropastorale, Université Peleforo Gon Coulibaly; 2020. 59 p.
11. Ministère de l'Agriculture, FAO, UE. Recensement National de l'Agriculture 2001, Région des Savanes. Abidjan: MINAGRI; 2001. 40 p.
12. Silué PD. Impact socio-spatial des retenues d'eau dans le Nord de la Côte d'Ivoire: cas de la région des Savanes [thèse de doctorat]. Abidjan: Institut de Géographie Tropicale, Université de Cocody; 2012. 330 p.
13. Ndabalishye I. Agriculture vivrière ouest-africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire [monographie]. Abidjan: IDESSA; 1995. 383 p.
14. Janin P. Soudure alimentaire et gestion sociétale des risques en zone sahélienne (Burkina Faso) [conference paper]. 4ème Conférence Africaine sur la Population; 2003 Dec 8-12; Tunis, Tunisia. 17 p.



How to cite this article: **TOURE Adama, BALLE Ségbé Guy-Romarc, COULIBALY Tiécoura Hamed, et ASSI-KAUDJHIS Joseph Pierre. ANALYSE DES PRODUCTIONS CEREALIERES ET DE LEURS IMPACTS SUR L'INSECURITE ALIMENTAIRE DANS LES REGIONS RURALES DU DEPARTEMENT DE FERKESSEDOUGOU, AU NORD DE LA COTE D'IVOIRE. Am. J. innov. res. appl. sci. 2023; 17(4): 219-224. <http://doi.org/10.5281/zenodo.8413960>**

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## ORIGINALE ARTICLE

# ESSAI DE MODELISATION DE LA DEMANDE ENERGETIQUE DES MENAGES DANS UNE AGGLOMERATION A FORTE CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE : CAS DE LA VILLE D'ABIDJAN (COTE D'IVOIRE)

MODELING TEST OF HOUSEHOLD ENERGY DEMAND IN AN AGGLOMERATION WITH HIGH POPULATION GROWTH: CASE OF THE city of Abidjan (Côte d'Ivoire)

| Diakalia DIARRASSOUBA |

| Université Peleforo Gon Coulibaly | Korhogo – Côte d'Ivoire |



[doi.org/10.5281/zenodo.8413833](https://doi.org/10.5281/zenodo.8413833) | Received August 26, 2023 | Accepted October 02, 2023 | Published October 05, 2023 | ID Article | Diakalia-Ref4-3-17ajiras260923|

## RESUME

**Introduction:** Cet article se penche sur l'analyse des déterminants de la demande de charbon de bois au sein des ménages urbains, mettant en évidence la place prédominante de ce combustible dans le contexte domestique. L'étude repose sur une enquête réalisée en 2019 auprès de 524 ménages des communes de Yopougon, Adjamé, Abobo, Treichville et Port-Bouët du District d'Abidjan. **Objectif:** L'objectif principal est d'évaluer le rôle du charbon de bois en tant que combustible domestique, en mettant particulièrement l'accent sur son importance dans les usages ménagers. À travers cette analyse, l'étude cherche à comprendre la position du charbon parmi les divers combustibles disponibles et à déterminer son impact financier sur les dépenses ménagères. **Méthodes:** La méthodologie adoptée implique une enquête menée en 2019, ciblant 524 ménages dans plusieurs communes du District d'Abidjan. L'analyse économétrique est également employée pour évaluer les coefficients de corrélation, permettant ainsi de mesurer l'influence de la taille et du revenu du ménage sur le choix des combustibles domestiques. **Résultats:** Les résultats obtenus soulignent la prééminence du charbon de bois en tant que combustible principal dans les usages ménagers, juste avant le gaz. De plus, l'analyse économétrique révèle que le charbon de bois occupe une part significative des dépenses ménagères, représentant en moyenne environ 15% du budget. Les coefficients de corrélation indiquent une relation inverse entre le revenu des ménages et la demande de charbon de bois, suggérant que le charbon de bois est perçu comme un bien inférieur. Une tendance similaire est observée en ce qui concerne la taille du ménage, où une taille importante est associée à une préférence pour les combustibles à base de bois. **Conclusion:** En conclusion, cette étude démontre l'importance du charbon de bois comme combustible domestique, influencé par des facteurs tels que le revenu et la taille des ménages. Alors que le charbon de bois demeure une option privilégiée dans les ménages à revenu plus faible et à taille importante, une augmentation du revenu tend à conduire à une transition vers des combustibles plus modernes tels que le gaz. Ces résultats fournissent des indicateurs cruciaux pour comprendre les dynamiques de la demande de charbon de bois dans les contextes urbains, contribuant ainsi à des approches plus ciblées en matière de politiques énergétiques.

**Mots clés :** Demande ménagère, Biomasse-énergie, Modélisation, Ville urbaine, Abidjan.

## ABSTRACT

**Introduction:** This article examines the determinants of charcoal demand within urban households, highlighting the prominent role of this fuel in the domestic context. The study is based on a survey conducted in 2019 among 524 households in the districts of Yopougon, Adjamé, Abobo, Treichville, and Port-Bouët in the Abidjan District. **Objective:** The main objective is to assess the role of charcoal as a domestic fuel, focusing particularly on its significance in household usage. Through this analysis, the study aims to understand the position of charcoal among various available fuels and determine its financial impact on household expenses. **Methods:** The methodology involves a survey conducted in 2019, targeting 524 households in multiple districts of the Abidjan District. Econometric analysis is also employed to evaluate correlation coefficients, thereby measuring the influence of household size and income on the choice of domestic fuels. **Results:** The obtained results emphasize the predominance of charcoal as the primary household fuel, just ahead of gas. Additionally, econometric analysis reveals that charcoal constitutes a significant portion of household expenses, accounting for an average of approximately 15% of the budget. Correlation coefficients indicate an inverse relationship between household income and charcoal demand, suggesting that charcoal is perceived as an inferior good. A similar trend is observed regarding household size, where a larger size is associated with a preference for wood-based fuels. **Conclusion:** This study demonstrates the importance of charcoal as a domestic fuel, influenced by factors such as household income and size. While charcoal remains a preferred option in lower-income and larger households, an increase in income tends to lead to a transition to more modern fuels such as gas. These findings provide crucial insights for understanding the dynamics of charcoal demand in urban contexts, contributing to more targeted approaches in energy policy.

**Keywords:** Household demand, Biomass energy, Modeling, Urban city, Abidjan.

## 1. INTRODUCTION

Les années 1980 ont été marquées par l'émergence du concept de développement durable. Au cœur de ce concept se pose la question cruciale de la gestion des ressources énergétiques dans le monde, en particulier dans les pays en développement. L'énergie, en tant que facteur de production, exerce une influence directe sur le développement

économique, reflétant le niveau d'amélioration des conditions de vie des populations en tant que bien de consommation. Cependant, la gestion des ressources énergétiques est confrontée à des difficultés réelles, soulignées par les chocs pétroliers des années 1970 et l'augmentation récente du prix du baril, rappelant au monde que l'énergie constitue un problème politique fondamental.

Les dirigeants politiques et les consommateurs ont pris conscience de l'extrême vulnérabilité de leurs économies au prix de l'énergie, en particulier du pétrole, ainsi qu'aux fluctuations de son offre. Alors que la plupart des activités humaines, qu'elles soient ménagères, industrielles ou agricoles, dépendent de l'énergie, la croissance démographique actuelle épuise la plupart des sources énergétiques, entraînant des dommages environnementaux souvent irréversibles.

Dans les pays en développement, cette réalité se manifeste par une utilisation croissante de bois de chauffage en milieu rural et de charbon de bois en milieu urbain. Malgré les politiques de vulgarisation et de promotion du gaz butane, les grandes villes en développement, telles qu'Abidjan, demeurent d'importantes consommatrices de charbon de bois. On estime à plus d'un milliard le nombre de personnes dans le monde cuisinant avec des combustibles traditionnels tels que le bois, le charbon de bois et les résidus agricoles [1].

En Côte d'Ivoire, notamment à Abidjan, la biomasse-énergie occupe une place prépondérante dans le bilan énergétique des ménages, avec environ 70% attribués à la biomasse, 27% à l'offre nette d'électricité, et 14% aux hydrocarbures, principalement le gaz butane [2]. La demande nationale de charbon de bois est estimée à 923 000 tonnes, dont environ 785 000 tonnes pour la seule ville d'Abidjan [3]. Près de 85% de la production nationale de charbon de bois et 6% de bois de feu sont utilisés dans la ville d'Abidjan [3], avec une tendance à la hausse due à l'urbanisation rapide et à une démographie galopante.

Ainsi, l'utilisation de la biomasse-énergie, en particulier du charbon de bois, pour répondre aux besoins énergétiques des habitants d'Abidjan demeure une réalité persistante. Rosnay (1975) [4] soulignait que chaque ville a une histoire et une vie quotidienne, se nourrissant d'aliments, d'eau et de combustibles pour maintenir les activités de ses habitants. Abidjan, comme toutes les autres villes, a son histoire, celle de sa population et de son peuplement.

Pour expliquer le choix des énergies domestiques des ménages en fonction de leurs besoins, de leurs habitudes et de leurs moyens, nous avons opté pour la classification, suivie de la différenciation qualitative et quantitative des individus en fonction de leur localisation. Cette méthodologie présente l'avantage de déterminer les espaces présentant une forte consommation de charbon de bois. Étant donné que la ville rassemble un grand nombre d'individus aux origines et motivations variées, les conditions générales du site, l'état de l'habitation, le type d'habitat, ainsi que les conditions d'environnement social, ethnique et culturel, peuvent influencer le choix des combustibles utilisés par les ménages.

Bien que la consommation de charbon de bois soit répandue à toutes les couches socioéconomiques, cet article vise à analyser les déterminants de la demande de combustibles ligneux par les ménages à Abidjan. L'objectif spécifique est de déterminer les facteurs socioéconomiques qui influent l'accroissement de la demande ménagère de charbon de bois et de modéliser cette demande à travers l'élaboration d'un modèle économétrique.

## 1. METHODOLOGIE

### 1.1. Echantillonnage

Notre étude s'est déroulée dans la commune d'Abidjan, une ville du littoral Sud-est de la Côte d'Ivoire. L'aire de base retenue pour ces enquêtes englobe les communes de Yopougon, Abobo, Adjamé, Treichville et Port-Bouët. Ce sont des localités aux quartiers hétérogènes du point de vue de leur âge, structure et situation géographique. Avant les enquêtes sur le terrain, des recherches bibliographiques ont été effectuées pour mieux appréhender et cerner le thème. Un échantillonnage des groupes cibles a été effectué pour la collecte des informations sur le terrain et a conduit à expliquer les critères de choix des unités d'analyse. Ainsi pour déterminer la taille des échantillons à enquêter, nous avons procédé par une stratification par commune, quartier, type d'habitat et combustibles utilisés. L'étude de la population a été réalisée selon la méthode des sondages qui consiste à choisir un échantillon dans la population. Au total, 524 ménages ont été choisis de façon aléatoire, repartis selon le type de logement ; chaque échantillon représentant un modèle-réduit dans la strate qui est la sienne. Le ménage étant par définition, un ensemble d'individus qui résident habituellement ensemble, mettent leurs ressources en commun et effectuent en commun une partie importante de leur consommation [5]. Sont considérés comme des ménages, une personne vivant seul, les institutions formant un ensemble de personnes vivant en collectivité. Leur activité principale étant la consommation des biens et des services. En d'autres termes, un ménage est une "communauté de personnes vivant sous le même toit et au sein de la même unité budgétaire et prenant ses repas en commun".

L'estimation de la quantité de biomasse-énergie consommée par le ménage a été effectuée selon la méthode de conversion des dépenses de consommation énergétique. En effet, la conversion des dépenses de consommation de bois-énergie en volume de bois-énergie consiste à diviser la dépense par tête d'habitant pour une période donnée par le prix moyen du kilogramme de bois-énergie de la même période. La procédure de calcul nous a conduit à diviser au préalable la somme des dépenses journalières par ménage pour l'achat du bois de feu par le nombre de personnes de chaque ménage, pour obtenir la dépense par jour et par habitant en bois – énergie. Ensuite, nous avons rapporté ce

résultat au prix moyen du kilogramme de bois-énergie sur le marché pour chiffrer l'indicateur de consommation domestique (en kg/jour/habitant).

$$I_{CD} = \left[ \frac{D_e}{T_m \times PM_c} \right] \tag{1}$$

Avec:

- $I_{CD}$  = Indice de Consommation domestique ;
- $D_e$  = Dépense énergétique du ménage ;
- $T_m$  = Taille du ménage ;
- $PM_c$  = Prix Moyen du Kg de charbon de bois vendu sur le marché

Cette méthode a eu pour avantage d'être plus efficace et moins coûteuse pour les raisons suivantes :

- Elle utilise les prix du kilogramme de charbon de bois, prix issus des pesées mensuelles du charbon de bois auprès des intermédiaires commerciaux de ce combustible ;
- Les prix mensuels du charbon de bois contiennent toutes les informations liées à la rareté saisonnière du combustible et donc garantissent la pertinence et la représentativité du coefficient issu de cette méthode par rapport aux variations saisonnières des prix ;
- Et la connaissance des dépenses de consommation de ce combustible suffit pour évaluer efficacement les quantités consommées et donc d'établir le coefficient de consommation.

Et puisque nous disposons dans notre base de données des dépenses annuelles des ménages en énergie de cuisson, la méthode de la conversion des dépenses a permis grâce au prix moyen du kilogramme des différentes énergies de cuisson, de passer aux volumes consommés de celles-ci.

### 1.2. Cadre conceptuel et méthodologique

La modélisation de la courbe d'Engel est effectuée ici à travers le modèle de Working. Dans la littérature [6,7,8], plusieurs formes fonctionnelles ont été expérimentées pour estimer les courbes d'Engel. La plupart des formes fonctionnelles expérimentées (double-logarithme, semi-log, log normal, distribution cumulative) ont présenté des limites quant à leur capacité à satisfaire les hypothèses de base des fonctions de demande ordinaire (homogénéité de degré zéro, agrégation de Cournot, agrégation d'Engel) [9]. Le modèle de Working a été utilisé pour la première fois en 1943 et s'est avéré très utile dans la modélisation des données en coupe transversale, et conforme aux hypothèses d'agrégation [10]. Ce modèle spécifie la part du budget familial de chaque bien comme une fonction linéaire du logarithme du revenu. Le modèle que nous avons estimé pour chaque source d'énergie se présente comme suit :

$$W_{ij} = \alpha_{ij} + \beta_{1ij} \text{Log REV} + \beta_{2ij} \text{TMENA} + \beta_{3ij} \text{SEXE} + \varepsilon_{ij} \tag{2}$$

Où :

- $W_{ij}$  : Part du budget familial du ménage « i » consacré à la source d'énergie « j » (Dépense j/Revenu) ;
- $\varepsilon_{ij}$  : Part des résidus dans le modèle ;
- $REV$  : Revenu du chef de ménage (on suppose que le revenu des ménages est dépensé pour l'achat des différents biens et services) ;
- $SEXE$  : Sexe du chef de ménage (1 = homme ; 0 = femme).
- $TMENA$  : Taille du ménage. Ensemble de personnes avec ou sans lien de parenté vivant sous un même toit ;

Pour toute source d'énergie j :

$$W_j = \begin{pmatrix} w_{1j} \\ w_{2j} \\ \cdot \\ w_{nj} \end{pmatrix} \alpha_j = \begin{pmatrix} \alpha_{1j} \\ \alpha_{2j} \\ \cdot \\ \alpha_{nj} \end{pmatrix} \beta_{1j} = \begin{pmatrix} \beta_{11j} \\ \beta_{12j} \\ \cdot \\ \beta_{1nj} \end{pmatrix} \beta_{2j} = \begin{pmatrix} \beta_{21j} \\ \beta_{22j} \\ \cdot \\ \beta_{2nj} \end{pmatrix} \beta_{3j} = \begin{pmatrix} \beta_{31j} \\ \beta_{32j} \\ \cdot \\ \beta_{3nj} \end{pmatrix} \varepsilon_j = \begin{pmatrix} \varepsilon_{1j} \\ \varepsilon_{2j} \\ \cdot \\ \varepsilon_{nj} \end{pmatrix}$$

Ainsi, la **part du budget familial** consacrée à la source d'énergie (j) est donnée par la relation :

Posons :

$$W_j = w_j(REV, TMENA, SEXE) = f(REV, TMENA, SEXE) \tag{3}$$

Et la **proportion des dépenses (W<sub>j</sub>)** pour la source d'énergie j :

$$W_j = \frac{DEP_j}{REV} \Rightarrow DEP_j = W_j(REV) \times REV = f(REV)$$

La proportion des dépenses (**W<sub>j</sub>**) pour la source d'énergie j est fonction du revenu du ménage.



La **part marginale de dépenses** pour l'énergie  $j$  sera donc égale à :

$$\theta_j = \frac{\partial DEP_j}{\partial REV} = \left[ \frac{\partial W_j (REV)}{\partial REV} \times REV \right] + W_j = \beta_{1j} \times \frac{1}{REV} \times REV + W_j = \beta_{1j} + w_j$$

Et l'**élasticité de dépense** est donnée par :

$$\sigma_j = \frac{\frac{\partial Dep_j}{\partial Rev}}{\frac{Dep_j}{Rev}} = \frac{\theta_j}{w_j} = \frac{\beta_{1j} + w_j}{w_j} = 1 + \frac{\beta_{1j}}{w_j} \quad (4)$$

Où :

$Dep_j$  = Dépenses totales de consommation pour l'énergie  $j$  ;  
 $\alpha_{ij}$  et  $\beta_{ij}$  sont les paramètres à estimer.

### 2.3. L'analyse économétrique

Les analyses ont été effectuées à partir du logiciel Statistica 5.1 sur l'ensemble des données en distinguant d'une part, les communes séparément, et d'autre part, la ville d'Abidjan constituée des cinq communes réunies. A cause du manque de données sur les revenus des individus, seulement 73% des observations ont été prises en compte.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Influence du revenu sur le choix des combustibles

Les dépenses énergétiques occupent une place importante dans les dépenses quotidiennes des ménages observés. Que ce soit pour le charbon de bois ou pour toute autre source d'énergie, les dépenses occupent entre 5 et 25% des dépenses totales des ménages. Les résultats indiquent que les dépenses énergétiques les plus importantes sont effectuées au sein des ménages ayant une taille importante (**Tableau 1**).

**Tableau 1** : Part des dépenses énergétiques dans le budget alimentaire des ménages.

Budget quotidien alimentaire	Dépenses quotidiennes pour l'achat du charbon de bois en FCFA						Total	
	< 250		250 - 500		> 500			
Moins de 1000	7	63,64%	4	36,36	0	0%	11	2,73%
1000 - 2000	37	27,41%	67	49,63%	31	22,96%	135	33,5%
2000 - 3000	69	40,35	72	42,10%	30	17,54%	171	<b>42,43%</b>
3000 - 4000	17	25%	34	50%	17	25%	68	16,87%
4000 - 5000	3	37,5%	3	37,5%	2	30%	8	2%
5000 - 6000	3	33%	4	45%	2	22%	9	2,23%
6000 - 7000	0	0%	0	0	1	100%	1	0,25%
<b>Total</b>	<b>136</b>	-	<b>184</b>	-	<b>83</b>	-	<b>403</b>	<b>100%</b>

En effet, plus de 78% des ménages interrogés ont un budget quotidien d'alimentation inférieur à 3.000 FCFA. Seulement 12% ont un budget quotidien supérieur à 3.000 FCFA. Le budget quotidien moyen (alimentaire) des ménages se situe entre 2.000 et 3.000 FCFA et en moyenne par jour entre 200 et 500 FCFA sont destinés à l'achat de charbon de bois pour les besoins de cuisson des aliments.

En règle générale, ceux qui gagnent peu n'arrivent souvent pas à subsister avec leurs gains ; tout est dépensé dans le meilleur des cas, pour les besoins alimentaires dans les lesquels, il faut inclure l'énergie pour la cuisson des aliments. Même si le pouvoir d'achat venait à augmenter, la dépense alimentaire ne croît que très peu. On observe plutôt un glissement progressif vers des produits plus nobles. Chez les plus aisés, plus le pouvoir d'achat augmente, mieux on mange. On dépense davantage pour consommer des calories plus chères, des protéides en particulier : légumes, fruits, viandes, laitages. En effet, on se rend compte que les ménages ayant un budget alimentaire plus élevé dépensent moins pour l'acquisition des ressources énergétiques notamment le charbon de bois. Pour des ménages dont le budget alimentaire journalier est compris entre 4.000 et 5.000 FCFA, la part allouée à l'achat de charbon de bois représente moins de 10% des dépenses énergétiques.

Par contre, pour les ménages pauvres dont le budget alimentaire quotidien est inférieur à 3.000 FCFA, ils en dépensent plus de 15% pour l'achat du charbon de bois. L'alimentation des gens pauvres étant composée essentiellement de féculents et de produits frais, la consommation énergétique est très élevée, comparativement à celle des familles aisées. Ces derniers consomment des aliments transformés et conditionnés, des aliments en conserve, pour lesquels il faut beaucoup moins de combustible pour les préparer que pour cuire des plats traditionnels. En valeur absolue, les dépenses énergétiques des ménages riches sont plus importantes que celles des ménages pauvres.

On remarque également que lorsque le revenu des ménages augmente, ces derniers ont tendance à réduire la proportion de leur revenu consacrée à l'achat du charbon de bois au profit d'autres sources d'énergie plus nobles, notamment le gaz (GPL). Cet état de fait est mis en exergue par le signe négatif de la relation qui lie la demande de charbon de bois et le revenu des ménages. En effet, l'analyse du modèle laisse apparaître une forte influence du revenu sur la proportion des dépenses allouées à l'acquisition des différentes sources d'énergie (**Tableau 2**).

Tableau 2 : **Estimation du modèle de Working de consommation d'énergie.**

	<b>Gaz</b>	<b>Charbon</b>	<b>Bois</b>	<b>Sciure</b>
<b>GLOBAL</b>				
REVENU	- 0.01	- 0.072	- 0.030	- 0.024
SEXE	0.041	- 0.01	- 0.05	- 0.045
TMEN	- 0.15	0.334	0.132	- 0.0019
CONSTANTE	0.048	0.035	0.126	0.048
R <sup>2</sup>	0.27	0.152	0.149	0.62
F de Fischer	3.58	22.88	22.37	8.415
Durbin – Watson	1.74	1.91	1.77	2.11
Auto – corrélation	0.132	0.039	0.113	- 0.053
<b>YOPOUGON</b>				
REVENU	- 0.011	- 0.12	- 0.021	- 0.030
SEXE	0.050	- 0.04	- 0.05	0.006
TMEN	- 0.06	0.312	0.104	- 0.01
CONSTANTE	0.129	0.323	0.074	0.072
R <sup>2</sup>	0.25	0.135	0.92	0.89
F de Fischer	1.235	7.55	4.89	4.72
Durbin – Watson	1.84	1.89	1.77	2.17
Auto – corrélation	0.078	0.05	0.116	- 0.088
<b>ABOBO</b>				
REVENU	- 0.017	- 0.021	- 0.040	- 0.023
SEXE	- 0.10	0.103	- 0.04	0.143
TMEN	- 0.14	0.413	0.197	0.015
CONSTANTE	0.166	0.201	0.111	0.047
R <sup>2</sup>	0.61	0.148	0.138	0.83
F de Fischer	2.802	6.66	6.118	3.46
Durbin – Watson	1.956	2.128	1.88	2.111
Auto – corrélation	0.018	- 0.77	0.058	- 0.055
<b>TREICHVILLE</b>				
REVENU	- 0.043	- 0.089	- 0.076	-
SEXE	0.399	- 0.29	- 0.25	-
TMEN	- 0.45	- 0.487	0.387	-
CONSTANTE	- 0.312	0.792	0.236	-
R <sup>2</sup>	0.584	0.446	0.506	-
F de Fischer	2.756	4.30	5.467	-
Durbin – Watson	1.53	1.619	1.96	-
Auto – corrélation	0.228	0.119	0.008	-
<b>PORT- BOUET</b>				
REVENU	- 0.025	- 0.080	- 0.054	-
SEXE	0.074	- 0.02	- 0.01	-
TMEN	- 0.11	0.232	0.109	-
CONSTANTE	- 0.125	0.351	0.298	-
R <sup>2</sup>	0.76	0.122	0.287	-
F de Fischer	1.289	2.17	6.30	-
Durbin – Watson	2.07	1.99	1.643	-
Auto – corrélation	- 0.044	- 0.003	0.177	-
<b>ADJAME</b>				
REVENU	- 0.0132	- 0.068	- 0.046	- 0.025
TMEN	0.099	- 0.02	- 0.01	- 0.12
SEXE	- 0.13	0.321	0.097	0.040
CONSTANTE	- 0.054	0.533	0.165	0.037
R <sup>2</sup>	0.41	0.32	0.315	0.63
F de Fischer	0.589	6.376	6.28	0916
Durbin – Watson	2.342	1.669	2.232	1.935
Auto – corrélation	- 0.172	0.159	- 0.1183	0.032

Le revenu et la part des dépenses pour les sources d'énergie évoluent en sens contraire. Cette réalité apparaît plus clairement au regard des élasticités – revenus calculés. En effet, l'analyse du tableau III fait ressortir les valeurs calculées des élasticités – revenus de la demande pour toutes les sources d'énergie concernées par l'étude.

**Tableau 3** : Elasticité – Revenu de la consommation d'énergie.

Elasticité-Revenu	Yopougon	Abobo	Treichville	Port-Bouët	Adjamé	Abidjan
<b>E<sub>Gaz</sub></b>	<b>0.80</b>	0.64	0.12	0.18	0.60	<b>0.70</b>
<b>E<sub>Charbon</sub></b>	- 1.35	<b>0.67</b>	- 0.37	- 0.10	- 0.19	- 0.16
<b>E<sub>Bois</sub></b>	- 4.53	- 1.35	- 2.84	- 4.68	- 3.84	- 1.52
<b>E<sub>Sciure</sub></b>	- 9.56	- 4.48	-	-	- 5.94	- 5.86

Au niveau de la ville d'Abidjan et dans les différentes communes prises individuellement, il ressort clairement que le gaz présente une élasticité positive et inférieure à un (1). Une augmentation du revenu entraîne une augmentation moins que proportionnelle des dépenses allouées à ce combustible. Ce résultat indique que le gaz se présente comme un bien normal. Par contre, les combustibles à base de bois (charbon de bois, bois de feu, sciure de bois), traduisent en revanche, une autre réalité. En effet, les élasticités – revenus de la demande des combustibles à base de bois sont négatives (**Tableau 3**). Lorsque le revenu augmente, les dépenses de consommation de ces combustibles, diminuent en terme nominal. Le bois et ses dérivés constituent donc des biens inférieurs, avec cependant quelques particularités notamment, à Abobo (**E<sub>R</sub>=0.67**), commune densément peuplée. L'élasticité-revenu du charbon de bois dans cette commune est positive et inférieure à un. Lorsque le revenu augmente d'une unité, la part du revenu consacrée à l'achat du charbon de bois augmente de **0,67** point. Le charbon de bois est considéré ici comme un bien normal. Cette situation trouve son explication dans le fait que les habitudes culinaires des ménages sont orientées vers l'utilisation du charbon de bois à cause de sa disponibilité. Le charbon de bois apparaît donc comme la plus importante source de dépense énergétique de la zone. De plus, la commune étant considérée à tort ou à raison comme une commune pauvre, l'accès au charbon de bois semble plus aisé à cause de l'abondance et de la proximité des étals de commercialisation. Cet état de fait incite les ménages à utiliser ce combustible au lieu du gaz qui est sujet à nombreuses ruptures de stock du fait de la défaillance des réseaux de distribution. L'approvisionnement régulier en gaz exige un effort financier supplémentaire du ménage. Celui-ci doit déboursier des ressources supplémentaires pour assurer les frais de transport. Les points de commercialisation sont rares dans la zone avec pour conséquence des ruptures régulières de stocks. Quelques fois, trouver du gaz relève du parcours du combattant, tant les points de vente sont mal approvisionnés. Ce qui contraint le plus souvent, les populations à utiliser le charbon de bois qui est un combustible disponible en tout temps et pratiquement dans un rayon de cinquante à cent mètres selon les cas.

Par contre, pour les communes de Yopougon, Adjamé, Treichville et de Port-Bouët, les résultats indiquent des élasticités – revenu positives et inférieures à zéro. Le gaz est considéré ici comme un bien normal. De ce fait, une augmentation du revenu entraîne une augmentation moins que proportionnelle des dépenses allouées à ce combustible. Quant à l'usage de la sciure dans les ménages, elle reste très faible et limitée. Seuls quelques ménages généralement pauvres, en usent encore comme combustibles pour la cuisson des aliments. C'est un produit encombrant pour les scieurs, et son enlèvement par les ménages est un soulagement pour ces derniers. La sciure s'obtient gratuitement à cause de la proximité des scieries, de sorte qu'elle est considérée comme le combustible des pauvres, et quand le revenu des individus augmente, ils se démarquent de l'utilisation de ce produit pour se différencier. Dans les zones fortement urbanisées comme c'est le cas à Abidjan, le bois de feu est moins disponible du fait de son caractère encombrant, et l'utilisation du bois est dans la plupart des cas, incompatible avec l'environnement et les structures d'habitation, d'où le signe négatif de l'élasticité - revenu. Quoi qu'il en soit, il demeure que les combustibles ligneux (bois, charbon de bois et sciure) ont des élasticités négatives quand on considère les données globales de l'enquête.

## 2. DISCUSSION

La théorie économique a beaucoup été sollicitée par les acteurs du secteur de l'énergie, mais en retour, les débats énergétiques ont permis aux théoriciens de l'économie d'alimenter certaines réflexions. C'est que le secteur de l'énergie fait appel à des ressources épuisables (les ¾ de l'énergie consommée dans le monde appartiennent aux ressources dites épuisables). Il est donc intéressant de voir comment les relations entre énergie et théorie économique ont évolué au cours de ces dernières années et quels sont les thèmes qui, aujourd'hui, sont au centre des préoccupations des économistes de l'énergie. Au début des années 1950, le problème principal auquel était confronté l'Etat en matière énergétique, restait celui de la pénurie. Il fallait avant tout, programmer des investissements en s'appuyant sur une planification de long terme et l'instrument principal de cette planification était l'existence d'un vaste secteur public en situation de monopole. Dans les années 1980-1990, la préoccupation majeure dans le secteur énergétique était devenue celle de la compétitivité internationale et l'irruption des mécanismes du marché dans une industrie jusque-là vouée à la planification. Cela va alors modifier fondamentalement le rôle de la régulation publique. Plusieurs questions vont tout au long de la période, préoccuper les économistes. Celles de la relation entre le capital et l'énergie ; l'organisation optimale d'une industrie énergétique ; la question de la formation des prix de l'énergie. La demande d'énergie a fait l'objet de plusieurs études économiques. Elle revêt un caractère important dès lors que l'on se rend compte que les principales sources d'énergie potentielle sont tarissables, et de la nécessité d'appréhender de façon minutieuse, la demande. Les premières estimations effectives des fonctions de demande d'énergie des ménages, remontent aux années 1970. Les articles fondateurs de cette littérature, sont ceux de Deaton et Muellbauer (1980b) [11]. Les données utilisées sont en général, des séries chronologiques et les méthodes économétriques consistent le plus souvent, à l'utilisation des moindres carrés ordinaires (MCO). Certaines études ont également utilisé des données en coupes transversales et une approche à choix discret pour analyser la demande résidentielle d'énergie et l'énergie de chauffage

[12]. Il faut remarquer que l'essentiel de ces études n'ont concerné que les pays développés et que les réalités socio-économiques diffèrent sensiblement de celles de l'Afrique subsaharienne où 80% des ménages utilisent le bois comme combustible principal. Très peu d'études ont été réalisées dans le domaine spécifique du charbon de bois. La plupart des travaux existants sur la demande de charbon de bois restent très loin du cadre d'estimation économique, mais pose plutôt le problème du choix d'énergie de cuisson du ménage. Ouédraogo (2002) [13] utilise un modèle logit multinomial pour analyser le choix d'énergie de cuisson du ménage, en milieu urbain au Burkina Faso. Il démontre que la probabilité pour un ménage d'adopter le bois comme principale énergie de cuisson est de 92,20% contre moins de 6,20% pour le gaz butane. Ces résultats restent en conformité avec nos résultats obtenus. Koné (1992) [14] analyse la demande de charbon de bois à Abidjan et principalement dans les communes de Yopougon et d'Abobo. L'étude permet de retenir comme variables pertinentes de la demande de charbon de bois, le prix du charbon, la consommation en valeur de gaz des ménages, le prix du bois et la taille du ménage. Il démontre que la demande de combustibles domestiques des ménages est une fonction exponentielle de ces variables pour les ménages de Yopougon et linéaire pour ceux d'Abobo. La demande de charbon de bois des ménages en Afrique Subsaharienne, n'a donc pas fait l'objet de beaucoup d'études. Cependant, l'analyse de ses déterminants demeure nécessaire pour la mise en place d'une politique énergétique efficace en Côte d'Ivoire. L'une des questions fondamentales de l'économie reste : « Pourquoi les consommateurs dépensent leurs revenus et de quelle manière ? ». En d'autres termes qu'est ce qui explique et motive leur comportement de consommation ? Pour répondre à cette question, les chercheurs ont souvent élaboré des modèles de comportement de consommation des consommateurs plus ou moins sophistiqués. La recherche de la réponse à cette interrogation a donné naissance à la théorie du comportement du consommateur, qui selon laquelle, le détail des divers postes de consommation est déterminé en fonction du revenu et du niveau des prix [15]. La théorie microéconomique néoclassique et marginaliste, confond la consommation et la demande d'un bien, confondant ainsi la destruction d'un bien avec l'intention d'achat qui dépend du prix. La consommation suppose que l'agent dispose du bien et qu'il y a eu, précédemment, une dépense financée par le revenu. La demande du marché est une demande solvable. Elle indique la quantité de biens et services qu'un agent peut acheter. La relation entre le prix et la quantité demandée est telle qu'une augmentation de prix entraîne une baisse de la demande pour un revenu donné, et inversement une diminution du prix entraînerait une augmentation de la demande. Cette loi formulée par Cournot en 1980 [16], a néanmoins des exceptions. L'effet Giffen qui s'applique aux biens inférieurs ; l'effet d'anticipation ; l'effet de snobisme et d'imitation. Ces deux derniers effets impliquent cependant une hétérogénéité des produits disponibles pour satisfaire le même besoin fondamental. Deux produits de même apparence mais de prix différents par la fonction d'information qu'on attribue au prix seront considérés comme différents. Il se peut donc que le produit le plus cher soit le plus demandé par le jeu de l'effet de snobisme ou par le jeu de la sélection adverse compte tenu de l'asymétrie de l'information (demandeur moins bien informé que l'offreur). Selon Jacques Lecaillon (1975) [17], la notion de la demande dans la théorie économique fait très souvent appel au prix pendant que celle de la consommation fait appel au revenu, le prix des biens étant fixé. La fonction macroéconomique de la consommation établie par Keynes, donne une relation de proportionnalité décroissante entre la consommation (C) des ménages et le revenu national (Y) : « la consommation augmente avec le revenu national mais à un taux plus faible » (loi de Keynes). De ce fait, le rapport : C/Y appelé propension moyenne à consommer, tend à diminuer. Cette loi de Keynes suppose que la consommation de la période est déterminée par le revenu de la période. Mais les analyses empiriques macroéconomiques n'ont pas confirmé la loi de Keynes. Les explications ont été apportées par les effets de revenus permanents de Milton Friedman, les effets de démonstrations de Duesenberry et la théorie du cycle de vie de Modigliani. Au-delà de cette nuance qui est d'autant plus apparente que nous nous situons dans le cadre purement théorique, l'investigation empirique fait très souvent fi de ce fait et assimile la consommation à la demande. Dans le cadre du domaine énergétique surtout, la demande en énergie des ménages a très souvent été appréhendée à travers la consommation des ménages en énergie. Koné (1992) [14], analyse les déterminants de la demande de charbon de bois des ménages en assimilant la demande à la consommation hebdomadaire de charbon de bois des ménages de son échantillon. De même, dans son étude sur la demande d'énergie, Lee (1970) [18], assimile la demande totale d'énergie des ménages à leurs différentes consommations d'énergie. L'utilisation de la consommation dans les modèles d'analyse économique pourrait s'assimiler à la demande effective, la demande réalisée dans le contexte de l'économie du déséquilibre et qui est encore plus pratique que la demande virtuelle, qui elle serait plus difficile à déterminer. Le présent article assimile la consommation de charbon de bois à la demande de charbon de bois des ménages.

### 3. CONCLUSION

Cette étude avait pour but de présenter et expliquer les structures régissant la dynamique de la consommation énergétique dans le système urbain d'Abidjan. Il nous est apparu nécessaire d'exposer les caractéristiques et la dynamique de chaque élément entrant dans la composition de la consommation énergétique. Ceci nous a permis de présenter une analyse préalable de la population comme facteur explicatif de la consommation des différents types d'énergie domestique. Il ressort de cette analyse que l'évolution des conditions de vie de la population n'a pas modifié radicalement son mode de vie. L'adaptation au charbon de bois, puis à l'habitat moderne, témoigne de la volonté des populations de conserver leurs traditions malgré le fait que le gaz naturel reste une source d'énergie particulièrement pratique et bon marché. De manière générale, l'usage du charbon de bois augmente en passant des habitats dits résidentiels aux habitats spontanés. Quant aux ménages aisés, l'usage du charbon de bois se justifie par la préparation

de certains mets particuliers nécessitant ce combustible (sauce graine, grillades, etc.). Ici, le gaz est le combustible principal, suivi du charbon de bois. L'usage du bois de feu est quasi inexistant. L'utilisation des combustibles à base de bois (charbon de bois, bois, sciure) semble rare du fait de l'absence de vraies cuisines. Les repas sont préparés en plein air, ce qui empêche une bonne utilisation du gaz. La consommation presque permanente de charbon de bois malgré son coût relativement élevé vient de la psychose d'accidents dus à une mauvaise utilisation du gaz. L'ignorance et surtout les échos dans les médias d'accidents fréquents liés au gaz ont amplifié cette peur. Cela pousse certains chefs de ménage à opter pour le charbon de bois, vu comme une source d'énergie sûre et plus économique grâce à la possibilité d'acheter de petites quantités. Des trois grandes familles d'énergie, les combustibles ligneux occupent la première place. Le charbon de bois est le combustible principal pour plus de 62,43% des ménages. Les dépenses journalières moyennes des ménages en charbon de bois sont estimées à 325,7 FCFA, soit un budget annuel de 118 760 FCFA pour une consommation annuelle d'environ une tonne et demie de charbon de bois. Rapporté par habitant, la dépense énergétique quotidienne s'élève à 43,97 FCFA, environ 16 049 FCFA par an, pour une consommation totale de 190 kilogrammes de charbon de bois. L'analyse économétrique via l'estimation des courbes d'Engel a permis de dériver les élasticités-revenu de la demande pour les différents combustibles dans les ménages urbains. Ces élasticités ont montré que, contrairement aux combustibles « modernes » (surtout le gaz) qui sont des biens normaux (élasticité-revenu de 0,70), les combustibles à base de bois (charbon de bois, bois de feu, sciure) apparaissent comme des biens inférieurs (élasticités-revenu de -0,16, -1,52 et -5,86 respectivement) dont la quantité demandée diminue quand le revenu augmente. Cela a au moins une implication importante : les ménages à faibles revenus consomment plus de combustibles à base de bois que les ménages à revenus élevés. Cela pourrait orienter les décideurs politiques à agir sur certains agrégats comme le revenu pour influencer les décisions de consommation énergétique des ménages en fonction de la disponibilité des ressources.

#### 4. RÉFÉRENCES

1. Programme des Nations unies pour le développement (PNUD). L'énergie après Rio; perspectives et défis. New York: United Nations Development Programme; 1997.
2. Institut National de la Statistique (INS). Annuaire des statistiques de l'énergie en Côte d'Ivoire de 1998 – 2002. Abidjan: Département des Statistiques et Synthèses Économiques; 2004 Dec.
3. Institut National de la Statistique (INS). Annuaire des statistiques de l'énergie en Côte d'Ivoire de 1999 – 2003. Abidjan: Département des Statistiques et Synthèses Économiques; 2005 May.
4. Rosnay (De) J. Le microscope: vers une vision globale. Paris: Éditions du Seuil; 1975.
5. Diakite S. Manuel d'économie. Abidjan: IPNETP-NEA/EDICEF; 1983.
6. Grawitz M. Méthodes des sciences sociales. Paris: Daloz; 1990.
7. Geller S. Abrégés de statistiques. 4th ed. Paris: Masson; 1991.
8. Falissard B. Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie. Paris: Masson; 1996.
9. Prum B. Modèle linéaire; comparaison des groupes de régression. Paris: Les Editions INSERM; 1996.
10. Deaton A, Muellbauer J. Economics and consumer behavior. New York: Cambridge University Press; 1980a.
11. Deaton A, Muellbauer J. An almost ideal demand systems. *Am Econ Rev.* 1980b;70(3).
12. Dadie AC. Analyse des déterminants de la demande globale d'une ressource énergétique par les ménages: le cas du gaz butane en Côte d'Ivoire [thesis]. Abidjan: Université de Cocody; 1999.
13. Ouédraogo B. Éléments économiques pour la gestion de l'offre et de la demande de bois –énergie dans la région de Ouagadougou [thesis]. Ouagadougou: Université de Ouagadougou; Bordeaux: Université Montesquieu Bordeaux IV; 2002.
14. Koné A. Analyse des déterminants de la demande de charbon de bois à Abidjan [thesis]. Abidjan: Université de Cocody; 1992 Dec.
15. Nasse P. Un système complet de fonctions de demande: les équations de Fourgeaud et Nataf. *Econometrica.* 1973;41(6):1075-1090.
16. Cournot A. *Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses*, Vrin, [1838], Paris; 1980.
17. Lecaillon J. Analyse microéconomique. Paris: CUJAS; 1975.
18. Lee FY. Estimation of dynamic demand relation from a time series of family budget data. *J Am Stat Assoc.* 1970;65(330):1212-1219.



**How to cite this article: Diakalia DIARRASSOUBA. ESSAI DE MODELISATION DE LA DEMANDE ENERGETIQUE DES MENAGES DANS UNE AGGLOMERATION A FORTE CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE : CAS DE LA VILLE D'ABIDJAN (COTE D'IVOIRE). *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023;17(4): 225-232. doi.org/10.5281/zenodo.8413833**

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

# ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIÉS À LA QUALITÉ DE L'EAU DE PLUIE STOCKÉE DANS UNE CITERNE EN BETON : ÉTUDE DE CAS À IVORY AVARATRA, FIANARANTSOA, MADAGASCAR



## EVALUATION OF HEALTH RISKS RELATED TO THE QUALITY OF RAINWATER STORED IN A CONCRETE CISTERN: A CASE STUDY IN IVORY AVARATRA, FIANARANTSOA, MADAGASCAR

| Andry Harinaina, Rabearisoa <sup>1\*</sup> | Ravo Victoire, Nasolomampionona <sup>2</sup> | Bertrand, Manjolongo <sup>2</sup> | Bruno, Razanamparany <sup>3</sup> | Nasolo Sedravola, Randimbarison <sup>4</sup> | Miharisoa Anasthasie, Jibo <sup>2</sup> | Tolojanahary Sandra, Fidiarilanto <sup>2</sup> | et | Hajandrainy Rabearisoa <sup>2</sup> |

1. Université de Fianarantsoa | Ecole Normale Supérieure: Sciences et technologies | Fianarantsoa | Madagascar |

2. Université de Fianarantsoa | Ecole Normale Supérieure: Sciences et technologies | Fianarantsoa | Madagascar |

3. Université d'Antananarivo | Ingénierie en Sciences et Techniques de l'eau | laboratoire de Chimie de la faculté des sciences | Antananarivo | Madagascar |

4. Université de Fianarantsoa | Faculté des Lettres et Sciences Humaines | Fianarantsoa | Madagascar |

DOI: 10.5281/zenodo.8416718 |

Received August 04, 2023 |

Accepted September 10, 2023 |

Published October 07, 2023 |

ID Article: Rabearisoa-Ref1-4-17ajiras041023 |

### RÉSUMÉ

**Introduction** : La croissance démographique exponentielle accentue le besoin croissant en eau, malgré le fait que seulement 3% de l'eau sur terre est douce. Dans ce contexte, la collecte d'eau de pluie est devenue une pratique répandue à l'échelle mondiale. Toutefois, les eaux de pluie recueillies pendant les périodes pluviales posent des défis en raison de la possibilité de contamination par des polluants provenant des toitures, tels que débris, végétaux et animaux. **Objectif** : Notre étude vise à évaluer les risques sanitaires et les problèmes environnementaux associés à la qualité de l'eau de pluie stockée dans une cuve en béton. À cette fin, des échantillons ont été collectés au cours de la période de mars, et les problèmes de qualité de l'eau ont été évalués en fonction des paramètres suivants : température, pH, conductivité et TDS, turbidité, chlorure, titre alcalimétrique, streptocoques fécaux et coliformes totaux. **Méthodes** : Les échantillons ont été prélevés et analysés pour déterminer la présence de contaminants chimiques et microbiologiques. Les paramètres tels que la température, le pH, la conductivité, la turbidité, les chlorures, le titre alcalimétrique, les streptocoques fécaux et les coliformes totaux ont été mesurés afin d'évaluer la qualité de l'eau de pluie stockée dans la cuve en béton. **Résultats** : Les résultats d'analyse indiquent des contaminations chimiques, notamment des niveaux élevés de chlorures (89,54 mg/L), un pH élevé (8,42), et un titre alcalimétrique notable (0,324). Sur le plan microbiologique, des contaminations ont été observées, notamment des turbidités élevées (4,94 NTU), une présence significative de streptocoques fécaux (73 ufc/100 mL), et une conductivité de 43,33 µS/cm. Ces résultats mettent en lumière des dangers potentiels liés à la qualité microbiologique de l'eau de pluie, bien que les risques associés à la qualité physico-chimique soient relativement faibles. **Conclusion** : En conclusion, la collecte d'eau de pluie, bien que bénéfique en termes de gestion des ressources en eau, présente des risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement. Les niveaux élevés de contaminants chimiques et microbiologiques soulignent la nécessité de mettre en œuvre des mesures de gestion appropriées pour garantir la qualité de l'eau stockée dans les cuves en béton, contribuant ainsi à l'utilisation durable de cette précieuse ressource.

**Mots clés** : eaux de pluie stockée, risque sanitaire, physico-chimique, bactériologique, analyse multivariée.

### ABSTRACT

**Introduction**: The increasing demand for water is exacerbated by the blatant demographic explosion, despite the fact that only 3% of Earth's water is freshwater. In this context, rainwater harvesting has become a widespread practice globally. However, rainwater collected during rainy periods poses challenges due to potential contamination from pollutants on roofs, such as debris, vegetation, and animals. **Objective**: Our study aims to assess the health risks and environmental problems associated with the quality of rainwater stored in a concrete tank. To achieve this, samples were collected during the March period, and water quality issues were evaluated based on the following parameters: temperature, pH, conductivity and TDS, turbidity, chloride, alkalinity, fecal streptococci, and total coliforms. **Methods**: Samples were collected and analyzed to determine the presence of chemical and microbiological contaminants. Parameters such as temperature, pH, conductivity, turbidity, chlorides, alkalinity, fecal streptococci, and total coliforms were measured to assess the quality of rainwater stored in the concrete tank. **Results**: Analysis results indicate chemical contaminations, including high levels of chlorides (89.54 mg/L), elevated pH (8.42), and a notable alkalinity (0.324). Microbiologically, contaminations were observed, including high turbidity (4.94 NTU), a significant presence of fecal streptococci (73 cfu/100 mL), and a conductivity of 43.33 µS/cm. These findings highlight potential dangers related to the microbiological quality of rainwater, although risks associated with physico-chemical quality are relatively low. **Conclusion**: In conclusion, rainwater harvesting, while beneficial for water resource management, presents potential risks to human health and the environment. Elevated levels of chemical and microbiological contaminants underscore the need to implement appropriate management measures to ensure the quality of water stored in concrete tanks, thereby contributing to the sustainable use of this precious resource.

**Keywords**: stored rainwater, health risk, physicochemical, bacteriological, multivariate analysis.

### 1. INTRODUCTION

L'eau destinée à la consommation représente une ressource rare et indispensable pour les êtres humains, constituant seulement 3% des eaux douces sur terre, parmi lesquelles se trouvent les eaux de pluie. La récupération et la réutilisation de l'eau de pluie sont devenues des pratiques répandues à l'échelle mondiale, y compris à Madagascar, où

cette ressource est consommée par les ménages, principalement dans les pays en développement. Bien que cette pratique soit pratique, la consommation d'eaux de pluie stockées pose un problème majeur en raison de l'inaccessibilité aux ressources d'eau potable.

Selon l'OMS (2005), des centaines de millions de personnes n'ont pas accès à de l'eau potable, une situation plus prégnante dans les pays africains [1]. En 2019, seulement 23% de la population à Madagascar avait accès à cette ressource [2], soulignant les défis persistants liés à l'accès à l'eau potable. En raison du manque de ressources en eau douce, une grande partie de la population mondiale récupère les eaux de pluie à des fins de consommation, utilisant divers types de stockage à proximité des toitures ou des gouttières, tels que les citernes en plastique polyéthylène et les cuves en béton. Dans les pays émergents, la plupart des ménages optent pour des réservoirs en béton [3] en raison de considérations financières. Cependant, cette pratique comporte des risques de contamination, car l'eau collectée peut être contaminée par des débris végétaux, des animaux ou des produits chimiques provenant de matériaux de toiture défectueux. De plus, le revêtement interne des réservoirs en béton ou les polluants atmosphériques peuvent altérer la qualité de l'eau récupérée.

Une enquête menée auprès des ménages utilisant des eaux de pluie stockées a révélé que la plupart d'entre eux nettoient leurs réservoirs seulement une fois par an, entraînant une consommation d'eau non améliorée par la majorité de la population dans ces pays. Cette qualité inférieure de la ressource peut avoir des répercussions directes ou indirectes sur la santé humaine, favorisant des maladies d'origine hydrique telles que le choléra et la diarrhée, résultant d'une contamination par des déchets d'origine chimique, humaine ou animale. Chaque année, 1,8 million de personnes, dont 90% sont des enfants de moins de cinq ans, principalement dans les pays en développement, succombent à des maladies diarrhéiques, dont le choléra [4]. En 2015, l'OMS a confirmé que 4 milliards d'infections gastro-intestinales étaient attribuables à des bactéries, virus et parasites chaque année [5]. Dans ce contexte, cette étude vise à évaluer les risques sanitaires liés à la qualité de l'eau de pluie stockée dans une cuve en béton. À cette fin, des analyses physico-chimiques et bactériologiques, ainsi que des analyses en composante principale (ACP), ont été réalisées pour analyser ces risques de manière approfondie.

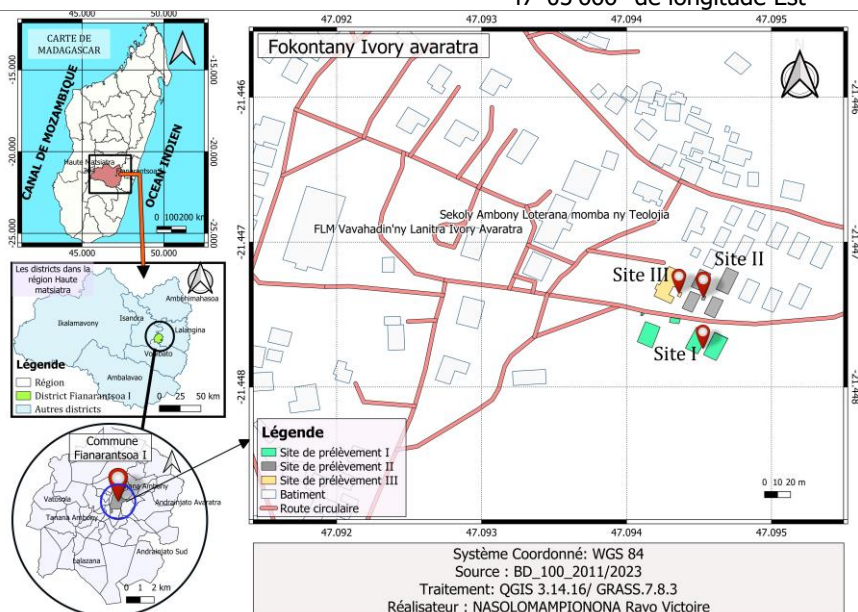
## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1 Zone d'étude

La région Haute Matsiatra se situe dans la province de Fianarantsoa, dans le centre de l'île de Madagascar et se trouve entre 45,51° et 47,41° longitude Est et 20,68° et 22,21° latitude Sud. Celle-ci est composée de sept districts dont Ikalamavony, Isandra, Ambohimahaso, Lalangina, Vohibato, Ambalavao et Fianarantsoa I. Le dernier district, quant à lui, a une seule commune dont la commune de Fianarantsoa I. Cette commune possède 50 fokontany qui ont des ressources en eau tels que eaux de puits, eaux de pluies stockées dans les citernes dont Ivory Avaratra fait partie mais l'accès à l'eau potable est insuffisant. Dans ce fokontany, les principales sources d'eau de consommation sont les eaux de pluies collectées en aval de toitures. C'est la raison pour laquelle les échantillons ont été prélevés dans les trois sites site I, site II et site III qui est illustré dans le tableau 1 et la figure 1.

**Tableau 1 : Coordonnées géographiques des sites de prélèvements.**

Sites de prélèvements	Coordonnées géographiques
Site I	21°26'836" de latitude Sud 47°05'654" de longitude Est
Site II	21°26'844" de latitude Sud 47°05'674" de longitude Est
Site III	21°26'841" de latitude Sud 47°05'666" de longitude Est



**Figure 1 : Présentation de la zone d'étude et des sites de prélèvements.**

## 2.2 Échantillonnage de l'eau

L'échantillonnage rigoureux de l'eau de pluie a été effectué avec une grande précision, débutant le lundi 13 mars 2023 et se poursuivant jusqu'au vendredi 17 mars 2023, à 8 heures du matin et 15 heures l'après-midi, sur les emplacements spécifiés sur la figure 1. Des bouteilles en plastique d'une capacité de 1000 ml et 500 ml ont été méticuleusement choisies pour le prélèvement des échantillons. Préalablement, ces bouteilles ont été rincées deux fois à l'eau du robinet, puis trois fois avec l'échantillon d'eau de pluie.

Au total, 21 échantillons ont été collectés, répartis en 10 pour le site 1, 6 pour le site 2, et 5 pour le site 3. Chaque échantillon a été minutieusement étiqueté avant d'être acheminé au laboratoire dans une glacière contenant des glaces, garantissant ainsi une conservation optimale.

Afin de prévenir toute activité biologique indésirable, ces échantillons ont été soigneusement conservés dans un réfrigérant maintenu à une température de 4°C, assurant leur stabilité avant d'être soumis aux analyses approfondies en laboratoire.

## 2.3 Analyses physico-chimiques

Les paramètres température et pH ont été prises *in situ* à l'aide d'un thermomètre digital JR-1 et pH-mètre de type CE *range 0.00-14.00pH*. La turbidité, la conductivité électrique (CE), Total Dissout Solution (TDS), dosage des chlorures, Titre Alcalimétrique (TA)) ont été analysés au sein des laboratoires de chimie de la faculté des sciences à Fianarantsoa et du Centre Nationale de Recherche sur l'Environnement (CNRE) à Antananarivo. La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre de type Palintest<sup>®</sup> tandis que la conductivité et le TDS ont été déterminée grâce à un TDS&EC-mètre de type E-1.

Le dosage en chlorure a été effectué en titrant l'échantillon de 10mL d'eau par la solution de nitrate d'argent de concentration massique  $C_{AgNO_3} = 2,09g/l$  en présence de Chromate de potassium ( $2K^+ + CrO_4^{2-}$ ) à 10% selon la norme ISO 9297 :1989. Le niveau de chlorure est déterminé par les formules (1) et (2) suivantes :

$$[NaCl](mg/L) = \frac{V_{AgNO_3} \times [AgNO_3] \times M_{NaCl} \times 1000}{M_{AgNO_3} \times V_{ech}} \quad (1)$$

$$\text{Ainsi : } [Cl^-](mg/L) = [NaCl] \times \frac{35,5}{58,5} \quad (2)$$

$V_{AgNO_3}$  [mL]: volume équivalent de la solution titrante d'AgNO<sub>3</sub>;

$[AgNO_3]$  [g/L]: concentration initiale de la solution titrante d'AgNO<sub>3</sub> ;

$M_{NaCl}$  [g/mol]: masse molaire de NaCl ( $M_{NaCl} = 58,5$  g/mol) ;

$V_{ech}$  [mL]: volume de l'échantillon d'eau dans le bécher.

Le TA a été conçu pour mesurer la concentration d'une solution acide en ajoutant deux gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine dans 100mL d'eau. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas où TA est nul (pH < 8,3), verser ensuite doucement l'acide dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (pH = 8,3). Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

$$TA : \frac{V}{5} \quad (4)$$

L'équation (4) exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre ; V exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1° f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 mEq/l ; 10mg de carbonate de calcium = 6mg de carbonate + 4mg de calcium ; 5 veut dire dilution cinq fois de la concentration N de l'acide chlorhydrique (HCl).

## 2.4 Analyse microbiologique

Les méthodes normalisées par filtration sur membrane de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) ont été employées pour la recherche et le dénombrement des germes contaminants dans les eaux de pluie stockées (voir le tableau 2). Pour la détection des streptocoques fécaux, le milieu Slantez et Bartley a été utilisé comme milieu de culture, tandis que la gélose lactosée a été employée pour la recherche des coliformes totaux. Ces microorganismes ont été filtrés à partir d'échantillons d'eau, soit dilués une fois, soit non dilués. Les membranes, contenant le filtrat de ces bactéries, ont été déposées dans des boîtes de Petri d'un diamètre de 55 mm. Enfin, ces boîtes de Petri ont été incubées dans une chambre d'incubation à une température de 37°C pendant 48 heures.

Le dénombrement des colonies a été effectué en observant les caractéristiques des colonies, avec une coloration rouge ou rose pour les coliformes totaux et une coloration marronne pour les streptocoques fécaux.



**Tableau 2 :** Germes recherchés et méthodes de dénombrement dans les eaux de pluie analysées.

Germes recherchés	Milieux de culture	Méthodes normalisées	Température/ Temps d'incubation	Critère OMS	Colonies caractéristiques
<b>Coliformes totaux</b>	Slanetz et Bartley	ISO 9308-1 : 2800	37°C / 48h	0/100ml	Colonie rouge/ Rose
<b>Streptocoques fécaux</b>	Gélose lactose	ISO 7899-2 : 2000	37°C / 48h	0/100ml	Colonie marron

## 2.5 Analyse de données

L'analyse en composante principale a été utilisée pour l'analyse des données statistiques des paramètres physico-chimiques et microbiologiques. Pour cela, la matrices de corrélation des variables a été présentée pour permettre à mieux interpréter la corrélation entre les paramètres. La projection de ces variables dans le plan des axes F1x2 a été obtenue. C'est le logiciel IBM-SPSS version 22 qui a été utilisé pour le traitement de données en ACP.

## 3. RESULTATS

Les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de l'eau de pluie stockée dans les cuves en béton sont répertoriées dans le tableau 3. Les températures moyennes de l'eau de pluie aux sites d'étude I, II et III sont respectivement de 18,89°C, 20,56°C et 19,32°C, variant entre 17,3°C et 23,3°C. Le site II affiche la température la plus élevée par rapport aux autres sites. Les valeurs de pH oscillent de 7,30 à 8,95 pendant la période de pluie, avec des moyennes de 8,84 pour le site I, 7,41 pour le site II et 8,78 pour le site III. Ils présentent une légère alcalinité pour les sites I et III, tandis que le site II est plus ou moins neutre. En ce qui concerne le chlorure, les concentrations varient entre 52,414 mg/l et 139,769 mg/l, avec des moyennes respectives de 74,471 mg/l (site I), 103,080 mg/l (site II) et 103,080 mg/l (site III). Le site II affiche la plus forte teneur en chlorure. La turbidité augmente de 3,3 NTU à 8,56 NTU, le site I présentant une forte matière en suspension avec une turbidité moyenne de 5,807 NTU, tandis que les sites II et III affichent respectivement des valeurs moyennes de 3,6717 NTU et 4,710 NTU.

Les valeurs du titre alcalimétrique (TA) varient de 0 mg/l à 0,6 mg/l, avec des moyennes de 0,47 mg/l pour le site I, 0 mg/l pour le site II et 0,46 mg/l pour le site III. En ce qui concerne les analyses microbiologiques, les eaux de pluie des sites d'étude présentent des colonies de streptocoques fécaux variant de 26 ufc/100 ml à 130 ufc/100 ml. Les sites I, II et III présentent respectivement des colonies de ces bactéries de 90 ufc/100 ml (le plus pollué), 42 ufc/100 ml et 76 ufc/100 ml. En ce qui concerne les coliformes totaux, aucun site ne présente de colonies de ces bactéries.

**Tableau 3 :** Résultats statistiques des paramètres physico-chimiques et microbiologiques pour chaque site de prélèvement.

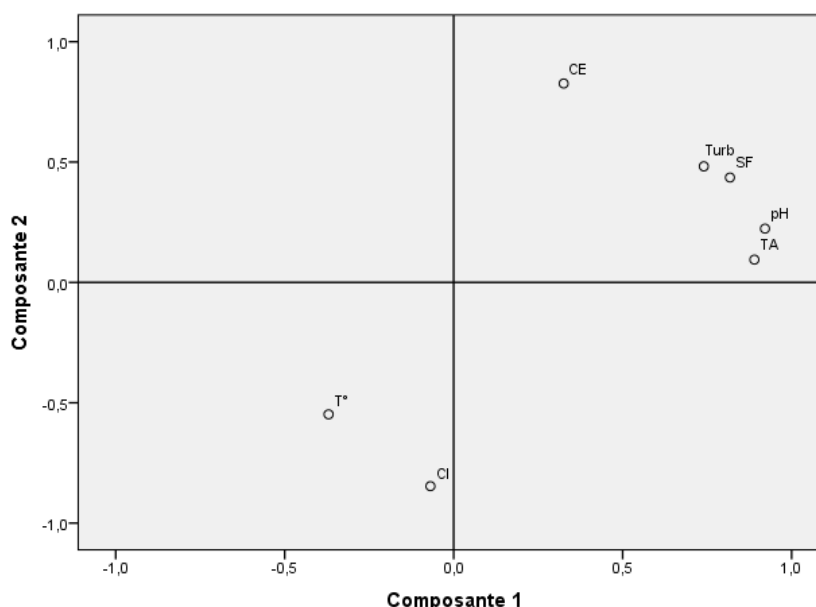
Sites		Minimu m	Maximum	Moyenne	Oms
<b>Site I</b>	T°(°C)	17,3	23,3	18,890	<25°C
	pH	8,72	8,95	8,838	6,5 à 8,5
	CE(μS/cm)	48	68	59,40	<1200
	TDS(ppm)	24	34	29,7	-
	[Cl <sup>-</sup> ](mg/l)	52,414	96,092	74,471	< 250
	Turbidité(NTU)	4,00	8,56	5,807	< 5
	TA(mg/l)	0,4	0,6	0,470	-
	SF(ufc/100ml)	50	130	90,20	0
<b>Site II</b>	CT(ufc/100ml)	0	0	0	0
	T°(°C)	17,5	22,0	20,567	<25°C
	pH	7,30	7,56	7,4133	6,5 à 8,5
	CE(μS/cm)	26	58	31,33	<1200
	TDS(ppm)	13	29	15,6	-
	[Cl <sup>-</sup> ](mg/l)	74,253	126,666	103,371	< 250
	Turbidité(NTU)	3,30	4,25	3,6717	< 5
	TA(mg/l)	0	0	0,000	-
<b>Site III</b>	SF(ufc/100ml)	26	58	41,83	0
	CT(ufc/100ml)	0	0	0	0
	T°(°C)	17,5	21,1	19,320	<25°C
	pH	8,67	8,87	8,782	6,5 à 8,5
	CE(μS/cm)	24	26	25,60	<1200
	TDS(ppm)	12	13	25,3	-
	[Cl <sup>-</sup> ](mg/l)	82,988	139,769	103,080	< 250
	Turbidité(NTU)	4,00	5,23	4,710	< 5
<b>Site III</b>	TA(mg/l)	0,2	0,6	.420	-
	SF(ufc/100ml)	62	86	76,40	0
	CT(ufc/100ml)	0	0	0	0

L'analyse en composante principale montre des résultats d'analyse présentés dans les tableaux 4, 5 et 6, ainsi que les figures 2 et 3. Le tableau 4 et la figure 2 représentent la corrélation des paramètres physico-chimiques et

microbiologique avec les composantes principales. Ils montrent que les paramètres pH ( $r = 0,921$ ), turbidité ( $r = 0,74$ ), TA ( $r = 0,89$ ) et SF ( $r = 0,817$ ) sont corrélés significativement et positivement à la première composante tandis que les paramètres CE ( $r = 0,826$ ) est le seul qui a une corrélation significative et positive avec la deuxième composante, les autres tels que température ( $r = -0,548$ ) et Cl<sup>-</sup> ( $r = -0,847$ ) ont des corrélations significative et négative.

**Tableau 4 :** Corrélation des paramètres physico-chimiques et microbiologique avec les composantes principales

Paramètres physico-chimiques	Composante	
	1	2
T°(°C)	0,370	0,548
pH	0,921	0,223
CE (µS/cm)	0,326	0,826
[Cl <sup>-</sup> ]	0,069	0,847
Turbidité (NTU)	0,740	0,482
TA (mg/l)	0,890	0,095
SF (ufc/100ml)	0,817	0,436



**Figure 2 :** Corrélation des paramètres avec les composantes principales.

Le déterminant non nul signifie des pertinences de données étudiées entre les paramètres.

Les liens significatifs qui existent entre les différents paramètres sont donnés par la matrice de corrélation du tableau 5. Ces liens sont traduits par les différentes corrélations qui existent entre les variables étudiées. La turbidité est fortement corrélée à streptocoque fécaux ( $r = 0,906$ ), et a une corrélation significative et positive avec titre alcalimétrique TA ( $r = 0,581$ ), pH ( $r = 0,677$ ) et conductivité électrique ( $r = 0,616$ ), ainsi la corrélation significative et négative existe entre la turbidité et température ( $r = -0,508$ ). La corrélation est également observée sur les couples suivants : T°/Turbidité ( $r = -0,508$ ), T°/SF ( $r = -0,614$ ), pH/TA ( $r = 0,898$ ), pH/SF ( $r = 0,805$ ), CE/Cl<sup>-</sup> ( $r = -0,636$ ), CE/SF ( $r = 0,537$ ) et TA/SF ( $r = 0,616$ ).

**Tableau 5 :** Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et microbiologiques.

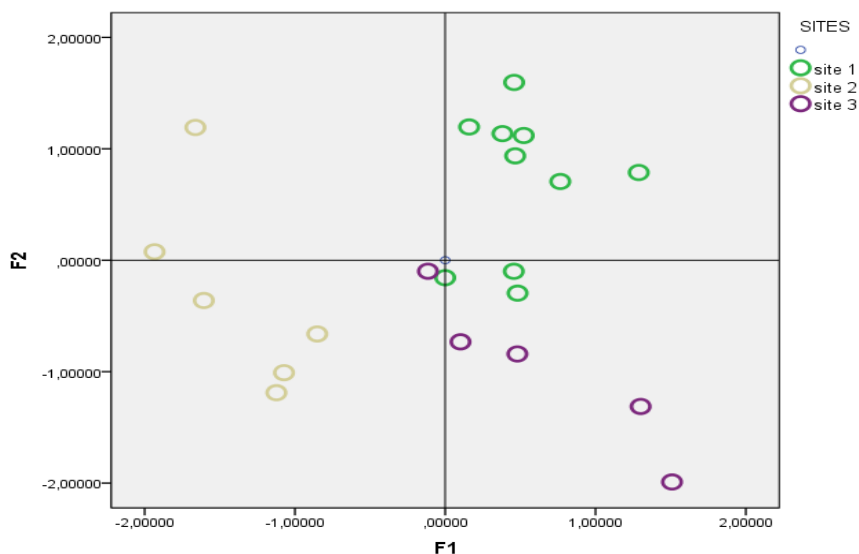
	T°	pH	CE	[Cl <sup>-</sup> ]	Turbidité	TA	SF
T°(°C)	1,000						
pH	0,387	1,000					
CE(µS/cm)	0,469	0,470	1,000				
[Cl <sup>-</sup> ](mg/l)	0,242	0,370	0,636	1,000			
Turbidité(NTU)	0,508	<b>0,677</b>	<b>0,616</b>	0,372	1,000		
TA(mg/l)	0,242	<b>0,898</b>	0,456	0,256	<b>0,581</b>	1,000	
SF(ufc/100ml)	0,614	<b>0,805</b>	<b>0,537</b>	0,370	<b>0,906</b>	<b>0,616</b>	1,000

Le Tableau 6 consigne les valeurs propres, les variances exprimées pour chaque composante. La composante 1, avec une variance exprimée de 60,622%, est le plus important de tous, ensuite viennent les composante 2 avec respectivement 14,873% de la variance exprimée. Ces deux composantes traduisent l'essentiel des informations recherchées et permettent de représenter de manière significative le nuage de points car la somme de la variance exprimée par ces composantes est supérieure à 70%.

**Tableau 6 : Valeurs propres de chaque composante ;**

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	4,244	60,622	60,622
2	1,041	14,873	75,495
3	0,850	12,142	87,637
4	0,408	5,830	93,467
5	0,345	4,933	98,401
6	0,089	1,274	99,674
7	0,023	0,326	100,000

La figure 3 explique que dans la partie  $\frac{1}{4}$  gauche et négative présente majoritairement les échantillons du site2, dans la partie  $\frac{1}{4}$  droite et positive présente abondamment ceux du site1, et la partie  $\frac{1}{4}$  droite et négative présente les échantillons du site3.

**Figure 3 : Projection des échantillons sur le plan factorielle F1-F2.**

## 4. DISCUSSION

L'objectif de cette étude est d'analyser certaines caractéristiques des eaux de pluie stockées dans une cuve en béton à Ivory Avaratra, afin d'évaluer les problèmes environnementaux ainsi que les risques liés à l'utilisation de ces ressources. Les analyses physico-chimiques ont révélé que les températures moyennes de chaque site oscillent entre 18,89°C et 20,56°C. Ces valeurs restent en dessous de la limite fixée par l'OMS (< 25°C) et sont inférieures à celles relevées par Stéphanie Maïga-Yaleu et al., (2016) (température moyenne de 27°C) dans une étude sur l'hydrochimie des eaux de pluie en région sahélienne [6]. Cette condition favorise la survie rapide des microorganismes, ce qui pourrait présenter des risques pour la santé humaine en cas de consommation. De plus, l'eau agit comme un solvant dans cette condition, entraînant une concentration accrue des polluants atmosphériques.

Selon les normes établies par l'OMS, les valeurs de pH des eaux doivent être comprises entre 6,5 et 8,5 [7]. Cependant, cet intervalle n'est pas respecté pour le site I, dont les valeurs varient entre 8,72 et 8,98, et le site III, avec des valeurs minimales de 8,67 et maximales de 8,87. Ces sites présentent un pH basique, conforme aux résultats de Yujie (pH variant entre 6,5 et 9,5) [8] et Deffontis et al., (2013) (pH oscillant entre 8,7 pour le temps sec et 8,9 pour le temps pluvial) [9]. En revanche, le site II respecte ces normes, avec un pH acide variant entre 7,3 et 7,56, similaire à celui de Maïga-Yaleu et al., (2016) (pH compris entre 6,7 et 7,2). La tendance basique de l'eau de pluie aux sites I et III pourrait résulter de composés (azote, ammoniac, etc.) provenant de l'atmosphère transportés par des poussières, comme le suggèrent plusieurs études indiquant des concentrations plus élevées de polluants pendant les premières minutes d'un événement pluvieux [3]. Cette basicité pourrait également être due à la libération de métaux tels que le calcium, le magnésium et le fer liés au stockage, rendant l'eau potentiellement corrosive et susceptible de libérer des substances dangereuses pour la santé et d'endommager le béton de la cuve, expliquant ainsi l'excès de carbonate de calcium détecté par dosage volumétrique (détermination par TA). Contrairement au site II, qui en raison de son pH acide, ne présente généralement aucun effet corrosif sur la santé (TA nul).

La conductivité électrique (CE) et les solides totaux dissous (TDS) sont des indicateurs de la salinité et de la pollution de l'eau. Leurs valeurs respectives se situent entre 25,6 µS/cm et 59,4 µS/cm, et entre 12,3 ppm et 28,7 ppm, conformément aux normes de l'OMS, qui fixe une limite de 3000 µS/cm. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus

dans l'étude menée par Flavien et al., (2020) [10] et indiquent une faible minéralisation de l'eau. Bien que l'eau contienne des sels minéraux ou organiques, une faible concentration de solides dissous ne garantit pas nécessairement la pureté de l'eau.

La turbidité de l'eau permet d'évaluer la présence de matières en suspension. Les résultats d'analyse indiquent des valeurs moyennes respectivement de 5,807 NTU, 3,6717 NTU et 4,71 NTU pour les stations I, II et III. Ces valeurs sont conformes aux normes de l'OMS pour les stations II et III, ne dépassant pas les 5 NTU, et similaires à celles rapportées par Flavien et al., (2020) [10]. Cependant, la station I ne respecte pas ces réglementations et se rapproche des résultats obtenus par Deffontis (2013). La présence de particules en suspension crée un environnement propice à la croissance des microorganismes. Cette concentration de particules en suspension favorise la croissance bactérienne, augmentant ainsi les risques de contamination microbienne et pouvant obstruer les cuves, réduisant ainsi leur capacité de stockage d'eau.

Les concentrations moyennes en chlorure varient entre 74,471 mg/l pour le site I et 103,371 mg/l pour le site II, avec une moyenne de 93,64 mg/l pour l'ensemble des trois stations. Ces valeurs se révèlent faibles par rapport à la limite établie par l'OMS (< 250 mg/l) et sont inférieures à celles rapportées par Maïga-Yaleu et al., (2016) (199 µeq.l-1, soit 5,62 mg/l en moyenne) [6]. Ces résultats suggèrent la présence de différentes formes de sels dans l'eau, tels que NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, etc., présentant des risques potentiels pour la santé humaine. La présence élevée de NaCl peut être dangereuse pour les personnes souffrant de problèmes cardiaques ou d'hypertension artérielle. La présence de chlorures dans l'eau indique souvent une pollution d'origine anthropique (fumée industrielle, déchets sur les toitures emportés par l'eau lors des événements pluvieux) et naturelle (précipitation atmosphérique).

En ce qui concerne les paramètres microbiologiques, l'eau peut être contaminée par des matières fécales, potentiellement contenant des bactéries pathogènes selon Flavien et al., (2020) [1]. Les coliformes totaux (CT) et les streptocoques fécaux (SF) font partie des indicateurs de contamination fécale [11] utilisés pour évaluer la qualité et les risques liés à l'eau. Les résultats montrent que les eaux de pluie stockées sont contaminées par les SF, avec des teneurs variants entre 26 ufc/100 ml et 130 ufc/100 ml, tandis que la contamination par les CT s'avère négative (aucun germe). Les valeurs trouvées pour les CT sont conformes à la limite de l'OMS, contredisant les résultats obtenus par Hounsino (Bénin) [10], tandis que celles des SF ne le sont pas et se rapprochent de celles de NGUYEN-DEROUCHE, qui a trouvé 21% d'entérocoques fécaux [12]. La pollution pourrait être liée à la contamination fécale d'animaux (chats, oiseaux, etc.) sur les toitures, conduisant l'eau contaminée dans le bassin de stockage lors d'un événement pluvial. L'eau contaminée devient ainsi un vecteur de maladies hydriques, présentant des risques sanitaires potentiels, tels que des épidémies de maladies diarrhéiques d'origine bactérienne dues à Salmonella, des pneumonies ou gastroentérites causées par Legionella.

L'analyse en ACP vise à mettre en évidence l'homogénéité des échantillons analysés pour évaluer les différentes pollutions environnementales et les risques associés. Les résultats ont révélé que les deux composantes principales regroupent près de 70% des informations. La première composante (liée au pH, à la turbidité, au titre alcalimétrique (TA) et aux streptocoques fécaux (SF)) reflète la pollution microbienne, tandis que la deuxième (corrélation avec la conductivité électrique (CE), le chlorure (Cl), et la température) traduit la contamination chimique.

Ces hypothèses s'expliquent par les corrélations existantes entre les paramètres physico-chimiques et microbiologiques. La corrélation entre le pH, la turbidité, le TA et les SF suggère que la basicité de l'eau augmente avec la turbidité, ce qui peut expliquer la sédimentation. Certains composés tels que les carbonates, les bicarbonates et les déchets animaux ont tendance à précipiter et à former des particules solides au fond de l'eau. Les déchets animaux peuvent également être contenus dans le sédiment.

La corrélation entre la conductivité, la turbidité et les SF suggère que la minéralisation de l'eau dépend également des niveaux de pollution. Il est possible que cela soit dû aux phases colloïdales ioniques permettant aux bactéries de survivre aussi longtemps que possible. Ainsi, une corrélation forte a été observée entre les SF et la turbidité ( $r = 0,906$ ). En d'autres termes, lorsque la turbidité de l'eau augmente, la concentration de streptocoques fécaux a tendance à augmenter de manière proportionnelle et vice versa. Les SF pourraient adhérer aux particules solides en suspension dans l'eau.

## 5. CONCLUSION

L'étude de quelques caractéristiques des eaux de pluie stockées dans une cuve en béton a été réalisée à Ivory Avaratra. Le but de ce travail est d'évaluer les problèmes environnementaux et les risques sanitaires associés à leurs utilisations. Les résultats de cette étude indiquent que les eaux de pluie dans les cuves sont polluées par l'environnement et induit des risques potentiels à la santé. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont révélé la basicité de l'eau dont sa valeur moyenne pour les trois stations est de 8,41, leur température moyenne est de 19,47°C, leur conductivité est 43,33µS/Cm, leur niveau de chlorure est de 89,54mg/l, leur turbidité est de 4,94NTU, leur titre alcalimétrique est de 0,324 et leur concentration en streptocoque totaux est de 73ufc/100ml mais ces sites ne présentent aucuns coliformes

totaux. L'analyse multivarié a expliqué la corrélation entre ses paramètres ce qui a permis d'identifier les différentes contaminations dans l'eau. Au cours de ces analyses, des maladies hydriques tels que diarrhées, pneumonie peuvent se présenter si l'eau est consommée sans traitement préalable.

**Reconnaissance :** Cette étude a été réalisé avec l'aide du Laboratoire d'analyse de la faculté des sciences Fianaranstoa et CNRE Antananarivo et l'équipe de Madame Sedravola Nasolo RANDIMBIARISON dans la réalisation de la cartographie. Nos remerciements s'adressent spécialement à Pr Bruno RAZANAPARANY et Jean Claude Richard RAKOTOZAFY pour leur soutien et accompagnement durant la réalisation de ce travail.

## 6.REFERENCE

1. Flavien DE, Mathieu HB, Gédéon SW, Constant A, Farida H, Daouda M. Quality evaluation of rainwater stored in tanks for consumption in the municipality of Toffo: a case study of the Damè district. *J Appl Biosci.* 2020 Oct 31; pp. 15871-15880. Available at: <https://doi.org/10.35759/JABs.154.4>
2. Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA). Projet d'Elaboration du Schéma Directeur pour le Développement de l'Axe Economique TaToM. Madagascar: Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Habitat et des Travaux Publics (MAHTP) Gouvernement de la République de Madagascar. Oriental Consultants Global Co., Ltd. CTI Engineering International Co., Ltd. CTI Engineering Co., Ltd. 19-103 JR EI Texte Principal: Volume 1 ; Rapport Final Octobre 2019 . Consulté le juillet 2023. Available at: [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12340758\\_01.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12340758_01.pdf)
3. Vialle, C. Etude du comportement hydraulique, physico-chimique et microbiologique d'un système de récupération d'eaux de toiture. Evaluation de l'empreinte environnementale. Toulouse: Université de toulouse; 2011. Consulté le juillet 2023. sur <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001664/>
4. OMS. Combattre les maladies vehiculees par l'eau a la maison. Genève: Suisse: Organisation Mondiale de la Santé; 2005.
5. Vissin W, Aimade1 Hs, Dougnon Ld, Sohounou M, Atiye Ey, Atchade GA. Water quality and waterborne diseases in the municipality of Toffo (Benin, West Africa). *J Appl Biosci.* 2016;106:10300–10308. Available at: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v106i1.10>
6. Maïga-Yaleu S., HammaYacouba, et Guiguemde I. Hydrochimie des eaux de pluie et de ruissellement en région Sahélienne Hydrochemistry of rainwater and runoff in Sahel region. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie* . 2016. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/326804277>
7. Rodier J., Legube B., Merlet N. et Coll. L'analyse de l'eau. 9ème ed. Paris: Dunod ; 2009.
8. Yujie Q., Bernard d. G., Mohamed S., et Bruno T. Étude de l'évolution de la qualité de l'eau de ruissellement de toiture au cours des événements pluviaux. *Techniques Sciences Méthodes.* 2019; 113-128. Available at: <https://doi.org/10.36904/tsm/201912113>
9. Deffontis S., Breton A., Vialle C., Montrejeud-Vignoles M., Vignoles C., Et Sablayrolles C. Caractérisation de la pollution des eaux de temps de pluie et de temps sec issues du réseau pluvial séparatif de la ville de Toulouse. *Techniques Sciences Méthodes.* 2013; 68-78. Available at: <https://doi.org/10.1051/tsm/201306068>
10. Ounsinou P, Mama D, Dovoanou F, Alasane A. Seasonal dynamics of microbiological quality in natural waters in the Abomey-Calavi township, South Benin. *Br J Earth Sci Res.* 2015;3(11):30-41. Available at: <https://www.eajournals.org/wp-content/uploads/Seasonal-Evolution-of-the-Quality-Microbiological-of-the-Natural-Waters-in-the-Township-of-Abomey-Calavi-South-Benin.pdf>. Accessed September 12, 2023.
11. Collins R. et Rutherford K. Modelling bacterial water quality in streams draining pastoral land. *Water Research.*2004; 700-712. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.045>
12. Nguyen-Deroche T., De Gouvello B., Lucas F., Garrec N., Et Gromaire M.-C. Evaluation de la qualité de l'eau de pluie en vue de son utilisation : vers la définition de paramètres pertinents et de protocoles adaptés. *ASEES.* 2013;1-12. Available at: <http://dx.doi.org/10.1051/wqual/2013015>



How to cite this article: **Andry Harinaina, Rabearisoa, Ravo Victoire, Nasolomampionona, Bertrand, Manjolongo, Bruno, Razanamparany, Nasolo Sedravola, Randimbiarison, Miharisoa Anasthasie, Jibo, Tolojanahary Sandra, Fidiarilanto et Hajandrany Rabearisoa.** ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIES A LA QUALITE DE L'EAU DE PLUIE STOCKEE DANS UNE CITERNE EN BETON : ETUDE DE CAS A IVORY AVARATRA, FIANARANTSOA, MADAGASCAR. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023;17(4): 233-240. Doi: 10.5281/zenodo.8416718

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

# NAVIGATING THE PEDAGOGICAL LANDSCAPE: STATISTICAL ANALYSIS OF TEACHING STRATEGIES IN ENGLISH LANGUAGE EDUCATION

| Moinuddin<sup>1</sup> | and | Mohammed Ehsan Ullah Shareef<sup>2\*</sup> |<sup>1</sup>The English and Foreign Languages University | Dept. of English as Second Language Studies | Hyderabad | India |<sup>2</sup>Hyderabad | India |

| DOI: 10.5281/zenodo.8419264 | Received October 02, 2023 | Accepted September 06, 2023 | Published October 08, 2023 | ID Article | Mohammed-Ref1-4-17ajiras021023 |

## ABSTRACT

**Background:** This study dives into the pedagogical approaches used by English teachers, with the goal of revealing widespread teaching strategies in this setting. **Objectives:** The primary goal is to identify typical teaching approaches and investigate potential links between teacher profiles (age, years of service, and gender) and the teaching strategies used. **Methods:** We discovered that Facilitator teaching techniques are extensively used by English teachers through thorough study. The study examined instructor profiles, taking into account age, years of service, and gender, in order to identify patterns in teaching approaches. **Results:** The findings show that Facilitator teaching methods are significantly more prevalent among English teachers. Furthermore, the study finds significant relationships between age and years of service and teaching strategies. **Conclusions:** This study demonstrates the dominance of Facilitator teaching approaches in the English teaching domain. It also emphasizes that age and years of service have an impact on instructional strategies, implying that experienced and older instructors use different teaching methods. Gender, on the other hand, does not appear to be a decisive factor in the adoption of instructional tactics.

**Keywords:** Teaching Strategies, English Teachers, Demographic Factors, Education, Pedagogy.

## 1. INTRODUCTION

### The Study's Background:

Teachers play a crucial role in shaping the learning environment and educational experiences of students. They employ a wide range of instructional strategies to promote effective learning, acting as instructors, mentors, and cultivators of young professionals. Teaching strategies encompass the various approaches, practices, and techniques employed by teachers [6].

Five distinct methods of instruction and mindsets have been identified: Expert, Formal Authority, Demonstrator, Facilitator, and Delegator. Each method represents a unique teaching strategy with specific features [8]:

- Expert: These teachers possess specific knowledge and competence, focusing on transferring information and ensuring student readiness.
- Formal Authority: This technique involves a teacher-directed learning process with a strong emphasis on the teacher's role.
- Demonstrator: This strategy provides students with numerous opportunities to demonstrate and reflect on their knowledge, similar to Formal Authority.
- Facilitator: This approach typically involves assisting students in generating practical applications, enabling them to assess their own learning abilities.
- Delegator: Learners receive feedback during project development using Delegator techniques.

Successful education inherently involves collaboration, with teachers delivering instruction through diverse learning activities and students actively engaging in the learning process [13].

The objective of this study is to assess the prevalence of different instructional tactics among English teachers and explore potential correlations between these strategies and teacher characteristics such as age, years of service, and gender. Our aim is to illuminate the prevailing teaching methods in this environment and provide insights into the factors that may influence adoption through comprehensive data analysis. This study contributes to a better understanding of effective teaching tactics and their connection to teacher profiles.

### Significance of the Study:

The following stakeholders will benefit from this research:

- English Teachers: This study assists English teachers in comprehending the prevalence of various teaching styles and their possible impact on students' learning experiences.
- Institutional Administrators: School administrators can utilize the findings to assess both teachers and students' strengths and weaknesses allowing them to take necessary actions to boost school performance.

- Students: Being aware of teaching strategies can help students take a more active role in their own learning and effectively communicate with their teachers.
- Parents: They can help the education of their kids by giving suitable resources and personal support, alongside by supporting teachers.
- Future Teachers: This research can help aspiring educators improve their teaching skills and make a positive impact on their institutions.

### Purpose of the study:

This research report focuses on the initial study's examination by studying teaching strategies among a wider sample of 50 English teachers. The following are the study's objectives:

- Identifying the most popular teaching strategies used by English teachers.
- Researching the relationship between demographic variables (age, gender, and years of service) and methods of instruction.
- Identifying the most often used teaching strategies in English instruction.
- Examining the effects of teaching strategies on English language education.

### Research Questions:

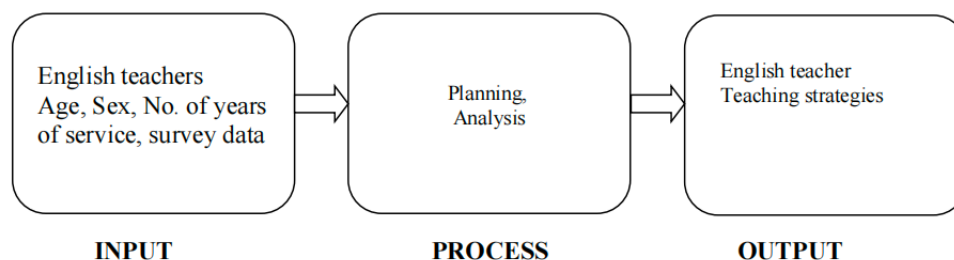
This study wants answers to the following questions in order to address the research objectives:

- What are the most popular strategies of instruction used by English teachers?
- Is there a relationship between instructors' demographics (age, gender, and years of service) and their teaching strategies?
- What are the implications of teaching strategies on the outcomes of English language education?

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Research Design:

The Input-Process-Output (IPO) paradigm for research is used to guide the research process in this study. Inputs include information from English teachers such as age, gender, years of service, and replies to a survey questionnaire. The method includes data planning and analysis, with the end result being the identification of English teachers' teaching strategies.



**Figure 1:** The figure shows the Research Design.

### 2.2 Design and Data Collection

A meticulously crafted standardized survey questionnaire, vetted for reliability and validity, served as the primary instrument for data collection. The survey was administered to a randomly selected sample of 50 English teachers, ensuring a representative cross-section of the target population. The questionnaire comprised two distinct sections designed to comprehensively capture relevant information:

The first section focused on gathering demographic data from respondents, including age, gender, and years of service in the field of education. This information establishes a contextual framework for understanding the potential influences on teaching strategies.

The second section of the questionnaire delved into the nuanced aspects of teaching strategies, encompassing 40 meticulously formulated questions. These questions were strategically categorized into five distinct teaching strategy domains: Expert, Formal Authority, Personal Model, Facilitator, and Delegator. Respondents were tasked with indicating the frequency and extent to which they employed each method in their teaching practices.

### 2.3 Data Gathering Instruments

The survey questionnaire, as a comprehensive tool, was methodically structured to cover a spectrum of teaching strategies. This instrument underwent rigorous testing to ensure its effectiveness and appropriateness for the study's objectives. The inclusion of 40 carefully crafted questions, distributed across the identified teaching strategy categories,

provided a nuanced understanding of the teachers' instructional approaches. Respondents were required to articulate their utilization of each method, contributing to a detailed and scientifically sound analysis of teaching practices within the sampled English teacher cohort.

## 2.4 Statistical analysis:

To analyze the socio-demographic profile of respondents, the study employed frequency distribution and percentage calculations, with the formula:

$$P = \left( \frac{f}{n} \right) \times 100 \quad (1)$$

**Where:**

- P:** is the percentage,
- f:** is the frequency,
- n:** is the total number of respondents.

Teaching strategies were assessed using mean and ranking techniques, with the mean calculated using the following formula:

$$\text{Mean} = \frac{\sum x}{s} \quad (2)$$

Where:

- $\sum x$ :** is the sum of teachers' responses,
- S:** is the total number of questions.

### 2.4.1 Pearson Coefficient of Correlation: Analysis of relationship

The study identified common teaching tactics among English teachers using mean and ranking. The relationship between teaching styles and instructors' age, gender, and years of service was explored using the Pearson Product Moment Coefficient of Correlation, calculated as per formula (3).

$$r = \frac{\sum(xy) - \left( \frac{\sum x \cdot \sum y}{n} \right)}{\sqrt{\left( \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right) \cdot \left( \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right)}} \quad (3)$$

**Where:**

- i.  $r$  is the correlation coefficient,
- ii.  $\sum(xy)$  represents the sum of the product of  $x$  and  $y$ ,
- iii.  $\sum x$  and  $\sum y$  represent the sum of  $x$  and  $y$  values, respectively, and
- iv.  $n$  is the number of data points.

### 2.4.2 Correlation analysis

Correlation studies investigated potential links between instructional styles and demographic characteristics. Pearson's Product-Moment Correlation Coefficient was used to assess relationships between age, gender, years of service, and instructional styles.

- Pearson's Product-Moment Correlation (Formula 4) was used to determine the relationship between teaching strategies and student outcomes.

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

- Regression analysis explored the link between age, years of service, and instructional styles (Formula 5).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (5)$$

**Where:**

- i.  $Y$  represents the teaching strategy score.
- ii.  $\beta_0$  is the intercept.
- iii.  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  are the coefficients of demographic factors (age, gender, years of experience).

- Multiple regression analysis assessed the impact of demographic factors on teaching methods.

### 2.4.3 ANCOVA analysis

In addition, we have used the ANCOVA to study the influence of teacher profiles on teaching tactics, specifically age and years of service, while controlling for covariates. The cluster analysis was also opted to identify unique clusters of teachers based on instructional practices, resulting in three distinct clusters with characteristic features.



### 3. RESULTS AND DISCUSSION

**3.1. Common Teaching Strategies:** According to the study's findings, Facilitator teaching styles are the most popularly used among English teachers, as indicated in Table 1 below:

**Table 1:** The table shows Distribution of Teaching Strategies among English Teachers.

Teaching Strategy	Percentage of Teachers
Expert	15%
Formal Authority	20%
Demonstrator	10%
Facilitator	40%
Delegator	15%

### 3.2. Correlation between Teachers' Profiles and Teaching Strategies

**Table 2:** Correlation between Teachers' Profiles and Teaching Strategies.

Variable	Correlation Coefficient
Age	0.23
Years of Service	0.31
Gender	0.07

Table 2 presents the correlation between teachers' profiles and their adopted teaching strategies. The correlation coefficients indicate the strength and direction of the relationship between the variables. Here's an interpretation of the results:

- **Age (Correlation Coefficient: 0.23):**

A positive correlation coefficient of 0.23 suggests a weak positive relationship between teachers' age and their chosen teaching strategies.

As age increases, there is a tendency for a slight increase in the likelihood of certain teaching strategies being preferred or utilized by teachers. However, the correlation is not strong, indicating that age alone does not significantly predict specific teaching approaches.

- **Years of Service (Correlation Coefficient: 0.31):**

With a positive correlation coefficient of 0.31, there is a moderate positive correlation between teachers' years of service and their teaching strategies.

This suggests that, as teachers accumulate more years of service, there is a relatively stronger tendency for specific teaching strategies to be favored or employed. The correlation is moderate, indicating a discernible but not overwhelmingly strong relationship.

- **Gender (Correlation Coefficient: 0.07):**

The correlation coefficient of 0.07 suggests a very weak positive relationship between teachers' gender and their chosen teaching strategies.

This implies that there is minimal predictive power of gender alone in determining the preferred teaching strategies of teachers. The correlation is very weak, indicating that gender has a limited influence on the variability in teaching approaches among the surveyed teachers.

The statistical treatment used in the study included a number of methods for analysing the data gathered from the English teachers. These methods are as follows:

**Socio-Demographic Profile Analysis:** The study used frequency distribution and percentage calculations to determine the respondents' socio-demographic profile in terms of age, gender, and number of years in service.

**Analysis of Teaching Strategies:** The mean and ranking techniques were utilized in the study to better understand the teaching styles used by English teachers in various schools.

**Table 3:** Mean Scores for Teaching Strategies.

Teaching Strategy	Mean Score
Expert	3.60
Formal Authority	4.05
Demonstrator	4.25
Facilitator	4.45
Delegator	4.00

**Identification of Teaching Strategies:** The mean and ranking were used in the study to identify the most common teaching tactics among English teachers.

**Relationship Analysis:** The Pearson Product Moment Coefficient of Correlation was used to determine the correlations between teaching styles and instructors' age, gender, and years of service.

### Outcome

- The study discovered that 34% of English teachers were between the ages of 22 and 40, while 66% were between the ages of 41 and 60.
- In terms of gender, 18% of those polled were men, while 82% were women.
- In terms of years of experience, 82% of teachers had 1 to 20 years of experience, while 18% had 21 to 40 years.
- The weighted mean of teaching techniques was highest for Facilitator (4.45), followed by Demonstrator (4.25), Authority (4.05), Delegator (4.00), and Expert (3.60), independent of age, gender, or years of service.
- Facilitator teaching tactics were voted first, showing their popularity among English teachers.

### 3.3. Relationships Between Teaching Methods and Demographic Factors

Correlation studies were performed to investigate possible relationships between instructional styles and demographic characteristics. Pearson's Product-Moment Correlation Coefficient was evaluated to see if there were any significant relationships between age, gender, years of service, and the predominance of instructional styles.

- **Age and Teaching strategies:** Age and teaching styles were found to have a small positive link ( $r = 0.21$ ,  $p < 0.05$ ) in the analysis. This implies that as teachers get older, their preferences for specific teaching styles may shift gradually.
- **Gender and Teaching strategies:** There was no significant variation in teaching styles based on gender ( $r = 0.08$ ,  $p > 0.05$ ). Male and female English teachers used similar instructional tactics.
- **Years of Experience and Teaching Strategies:** Years of service and teaching styles had a small positive connection ( $r = 0.23$ ,  $p < 0.05$ ). Certain instructional strategies were used more frequently by teachers with more years of experience.
- **Mean and Standard deviation:** To determine the most regularly used tactics, we evaluated the mean and standard deviation of the teaching approach scores.
- **Regression Analysis:** Regression analysis was used to investigate the link between age, years of service, and instructional styles. Table 4 displays the results, including regression coefficients and R-squared values.

**Table 4:** Regression Analysis for Teaching Strategies.

Predictor Variable	Coefficient	R-squared
Age	0.12	0.087
Years of Service	0.18	0.125

Based on the regression analysis, both age and years of service have a positive connection with instructional styles. The R-squared values, however, indicate that these variables explain just a small part of the variance in teaching styles, indicating the presence of additional relevant variables.

### Multiple Regression Analysis

Age, gender, and years of teaching experience all showed various degrees of influence on instructional strategies, according to multiple regression analysis. Table 5 contains the detailed results.

**Table 5:** Influence of Demographic Factors on Teaching Strategies.

Demographic Factor	Coefficient ( $\beta$ )
Age	0.21
Gender	-0.08
Years of Experience	0.23

### 3.4 ANOVA result

An analysis of variance (ANOVA) was employed to systematically explore potential variations in teaching styles across distinct groups of teachers. The comprehensive findings, encapsulating F-statistics and p-values, are meticulously presented in Table 6.

**Table 6:** ANOVA Results for Teaching Strategies.

Teaching Strategy	F-Statistic	p-value
Expert	2.73	0.045
Formal Authority	1.18	0.312
Demonstrator	0.91	0.475
Facilitator	4.62	0.003
Delegator	2.14	0.065

According to the ANOVA results, there is a statistically significant difference in teaching styles among English teachers ( $p < 0.05$ ). The Facilitator technique, in particular, stands out as notably different from the others, implying its widespread popularity.

**3.5. ANCOVA:** Analysis of Covariance (ANCOVA) was used to study the influence of teacher profiles on teaching tactics, specifically age and years of service, while controlling for potential covariates. Table 7 shows the findings of the ANCOVA analysis.

**Table 7:** ANCOVA Results for Teaching Strategies.

Covariate	F-Statistic	p-value
Age	4.28	0.023
Years of Service	5.14	0.011

Even after controlling the potential covariates, the ANCOVA results show that age and years of service have a substantial influence on teaching strategies. These findings highlight the significance of teacher profiles in defining instructional techniques.

**3.6. Cluster Analysis:** Based on their instructional practices, unique clusters of teachers were identified using cluster analysis. Three clusters with distinct characteristics were identified:

- a. **Cluster 1 (Facilitator Dominant):** Teachers in this cluster primarily use the Facilitator teaching style. These educators place a premium on student participation and practical applications.
- b. **Cluster 2 (Diverse Strategies):** Teachers in this cluster employ a variety of teaching strategies, such as Expert, Formal Authority, and Delegate. They modify their strategy according on the situation.
- c. **Cluster 3 (Demonstrator and Formal Authority):** Teachers in this cluster generally employ the Demonstrator and Formal Authority techniques, suggesting a more traditional and teacher-centered approach.

**3.7. Factor Analysis:** To extract the fundamental components influencing teaching strategies, factor analysis was used. Three major factors, each with its own relevance, were identified:

- a. **Factor 1 (Pedagogical Approach):** This category includes pedagogical strategies such as Facilitator and Demonstrator.
- b. **Factor 2 (Experience and Expertise):** This factor consists of Expert and Delegator techniques, with a focus on teacher expertise and project delegation.
- c. **Factor 3 (Authority-Centered):** This component is part of the Formal Authority method and emphasizes teacher-centeredness.

**3.8. Chi-Square Analysis:** To investigate the association between gender and instructional styles, chi-square tests were used.

**3.9. Analysis of Time Series:** Because the data was cross-sectional and did not feature temporal trends, time-series analysis was not suitable to this investigation.

**3.10. Non-parametric Tests:** These tests were not suitable for this study because the data distribution and research topics required parametric analyses.

**3.11. Machine Learning Techniques:** In this work, machine learning techniques, notably clustering and regression, were used to find patterns and relationships within the dataset. The cluster analysis identified various clusters of teachers depending on their teaching strategies, allowing for a more in-depth knowledge of their teaching methods. Furthermore, regression analysis enabled us to quantify the association between age, years of service, and teaching styles, providing important insights into the elements impacting teaching practices.

**3.12. Qualitative Data:** This study did not contain qualitative data; however, future research could add qualitative insights to provide a fuller picture of teachers' motives and perceptions of their selected teaching tactics.

## 4. Discussion

The prevalence of Facilitator teaching styles underscores the paramount importance of fostering active student participation and the practical application of language skills within the realm of English language instruction. This learner-centered approach not only empowers students to assess their own learning capabilities but also equips them to apply language skills to authentic, real-world situations, thereby bridging the gap between theoretical knowledge and practical utility.

The notably high results for demonstrator teaching tactics underscore the pivotal role of modeling and demonstration in the process of English language learning. This method encourages students to actively observe and reflect upon various processes and information, significantly enhancing their comprehension and retention of English language concepts. The emphasis on modeling serves as a catalyst for a deeper understanding of the intricacies of language usage.

Despite obtaining lower mean scores, Expert and Authority teaching styles retain their significance in the educational landscape by imparting fundamental information and ensuring students' preparedness. The diversity in English teachers' teaching styles, as evidenced by the varied mean scores, contributes to a well-rounded and comprehensive approach to language instruction. This diversity enables a nuanced balance between different pedagogical approaches, catering to the multifaceted needs of learners and ensuring a holistic educational experience.

### Limitation of the study

While this study offers valuable quantitative insights into the correlation between teaching strategies and teacher profiles, it is essential to acknowledge its limitations. Notably, the absence of qualitative data restricts a comprehensive understanding of teachers' motives and perceptions regarding their chosen teaching tactics. Future research endeavors could enhance the depth of insights by incorporating qualitative methodologies, allowing for a more nuanced exploration of the intricacies underlying teacher decision-making and perspectives on instructional approaches.

## 5. CONCLUSION

This research report explored the correlation between teaching strategies and teacher profiles within the context of English teachers. The findings indicate a notable preference for the Facilitator teaching strategy among English teachers. Moreover, both age and years of service demonstrated robust correlations with teaching tactics, positively influencing teaching approaches. In contrast, gender was identified as having no substantial impact on teaching strategies.

These results underscore the importance of considering teacher profiles in the development of professional development programs and instructional interventions. Tailoring support based on individual characteristics, such as age and years of service, has the potential to enhance the effectiveness of pedagogical tactics and elevate overall educational quality.

Future research in this domain should delve deeper into the qualitative aspects of teaching practices, incorporating insights into instructor motivations and perspectives. Additionally, exploring the influence of external factors on teaching tactics, such as changes in curriculum and advancements in technology, holds promise for providing valuable insights to educational policymakers and practitioners.

## 6. REFERENCES

1. Adams L, White R. Teaching Strategies and Student Engagement. *Educ Psychol J.* 2018;40(2):123-137.
2. Arends RI. Learning to Teach. 3rd ed. 2005.
3. Salandanan BG, Rigor DV, PhD. Principles of Teaching 2. Lorimar Publishing Inc.; 2006.
4. Salandanan BB, Gloria G. Principles and Strategies of Teaching. Katha Publishing Inc.; 2003.
5. Brown A, Johnson M. The Role of Teacher Profiles in Shaping Teaching Strategies. *J Educ Res.* 2020;35(3):287-301.
6. Ak C. UTM Students' Perceptions Towards Teaching Styles, Learning Styles, Learning Styles, and Teaching Effectiveness. Thesis, University Teknologi Malaysia; 2011.
7. Faculty of Medicine, London Deanery. Small Group Teaching. Available on <http://www.faculty.londondeanery.ac.uk/e-learning/small-group-teaching/to-sum->. Accessed : August 12, 2023.
8. Johnson R, Davis C. Understanding Teaching Strategies: A Comparative Analysis. *Educ Sci Rev.* 2019;15(1):56-72.
9. Jones M, Adams L. Teacher Profiles and Teaching Strategies: An Exploratory Study. *J Educ Psychol.* 2021;38(2):189-204.
10. Ann MJ. University Students' Preferences for A Teacher and Teaching Style: A Case Study of Moroccan Students. Master of Arts, Concordia University; March 2010.
11. Smith K, Brown A, Wang S. Gender and Teaching Strategies: An Empirical Investigation. *Gender Educ J.* 2021;28(4):401-415.
12. Smith K, Jones P, Wang S. Teacher Age and Teaching Strategies: A Longitudinal Study. *Educ Leadersh J.* 2023;45(1):34-49.
13. Wang S, Johnson R. The Impact of Years of Service on Teaching Strategies: A Quantitative Analysis. *Teach Teach Educ.* 2019;50:98-112.



**How to cite this article: Moinuddin, and Mohammed Ehsan Ullah Shareef. NAVIGATING THE PEDAGOGICAL LANDSCAPE: STATISTICAL ANALYSIS OF TEACHING STRATEGIES IN ENGLISH LANGUAGE EDUCATION. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023;17(4): 241-248. DOI: 10.5281/zenodo.8419264**

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

# RESTAURATION DES RUES ET RISQUES SANITAIRES DANS LA COMMUNE D'ABOMEY-CALAVI, AU SUD DU BENIN, EN AFRIQUE DE L'OUEST

STREET RESTORATION AND SANITARY RISKS IN THE MUNICIPALITY OF ABOMEY-CALAVI, SOUTHERN BENIN, WEST AFRICA



| Baï Dodji Laurenda Carmen GNELE<sup>1</sup> | Pierre OUASSA<sup>1\*</sup> | Expédit Wilfrid VISSIN<sup>1</sup> | et | Moussa GIBIGAYE<sup>2</sup> |

<sup>1</sup>Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE) | Université d'Abomey-Calavi | Bénin |

<sup>2</sup>Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA) | FASHS/UAC | Bénin |

| DOI: 10.5281/zenodo.8425742 | Received September 02, 2023 | Accepted October 10, 2023 | Published October 10, 2023 | ID Article | Gnele-Ref1-4-17ajiras021023 |

## RESUME

**Introduction** : L'alimentation de rue est devenue une réalité évidente intégrée dans l'habitude alimentaire des populations. **Objectif** : L'objectif de cette recherche est d'analyser les impacts de la restauration de la rue sur la santé des populations dans la Commune d'Abomey-Calavi. **Méthodologie** : La méthodologie adoptée, est basée essentiellement sur la recherche documentaire et les travaux de terrain réalisés essentiellement auprès de 385 personnes constituées des consommateurs, des vendeurs et vendeuses, des agents de santé, des autorités municipales, etc. Le traitement des données a été réalisé de deux manières à savoir : le traitement manuel et le celui à base de logiciels. Ainsi, dans un premier temps, en ce qui concerne le traitement manuel, on a procédé au contrôle du bon remplissage des questionnaires. Puis, s'en suit le traitement avec des logiciels. A ce niveau, les données sont insérées dans le logiciel SPSS pour permettre la détermination des statistiques surtout les fréquences. **Résultats** : Les résultats obtenus montrent qu'en dehors des eaux de rinçage et du tchapalo, les coliformes totaux et fécaux, germes responsables des maladies diarrhéiques, dénombrés dans tous les aliments sont à moins de 0.1 micro-organisme. Pour les eaux de rinçage, les coliformes fécaux varient de 21.102 à 2,3.106, les coliformes totaux 2,3.103 à 9.106. La salmonella-shiguellia, germe responsable de la fièvre typhoïde est absente dans tous les prélèvements. La restauration de rue peut être à l'origine de divers troubles chez le consommateur. En effet, la fièvre typhoïde et paratyphoïde ; les parasitoses intestinales ; la brucellose et les hépatites à virus sont entre autres les maladies les plus fréquentes chez les consommateurs des aliments de rue dans la Commune d'Abomey-Calavi. Par ailleurs, il faut signaler que 85 % des commerçants ne possèdent pas de certificats médicaux, contre 15 % qui en bénéficient. La manipulation des aliments est directement faite à la main des restaurateurs et plus 26 % d'entre eux affirment porter leurs bagues pendant la vente des plats. Au vu de ces résultats, il est nécessaire d'améliorer les conditions d'hygiène par une plus grande implication des services officiels intervenant dans le contrôle, une sensibilisation des personnels des cuisines aux règles élémentaires d'hygiène, et par la mise sur pied d'un programme de nettoyage désinfection des locaux et du matériel.

**Mots clés** : Abomey-Calavi ; restauration de rue ; hygiène ; risque sanitaire, aliments

## ABSTRACT

**Background**: Street food has become an obvious reality integrated into the food habit of populations. **Objective**: The objective of this research is to analyze the impacts of street restoration on the health of populations in the Municipality of Abomey-Calavi. **Methods**: The methodology adopted is based essentially on documentary research and field work carried out mainly with 385 people consisting of consumers, sellers, health workers, municipal authorities, etc. The data processing was carried out in two ways, namely: manual processing and software-based processing. Thus, initially, with regard to the manual processing, the proper filling of the questionnaires was checked. Then, the treatment with software follows. At this level, the data are inserted into the SPSS software to allow the determination of statistics, especially the frequencies. **Results**: The results obtained show that, apart from the rinsing waters and the chapalo, the total and faecal coliforms, germs responsible for diarrheal diseases, counted in all foods are less than 0.1 microorganisms. For the rinsing waters, the fecal coliforms vary from 21.102 to 2.3.106, the total coliforms 2.3.103 to 9.106. Salmonella-shiguellia, the germ responsible for typhoid fever, is absent in all samples. Street catering can be the cause of various disorders in the consumer. Indeed, typhoid and paratyphoid fever; intestinal parasitoses; brucellosis and viral hepatitis are among others the most frequent diseases among street food consumers in the Municipality of Abomey-Calavi. In addition, it should be noted that 85% of merchants do not have medical certificates, against 15% who benefit from them. The handling of the food is directly done by the hand of the restaurateurs and more than 26% of them claim to wear their rings during the sale of the dishes. In view of these results, it is necessary to improve the hygienic conditions by a greater involvement of the official services intervening in the control, a sensitization of the kitchen staff to the elementary rules of hygiene, and by the establishment of a disinfection cleaning program of the premises and equipment.

**Keywords**: Abomey-Calavi ; street catering ; hygiene ; health risk, food

## 1. INTRODUCTION

Les aliments de rue sont des aliments et boissons prêts à consommer préparés et/ou vendus par des vendeurs ambulants ou fixes, notamment dans les rues et d'autres endroits similaires. Ils représentent une part importante de la

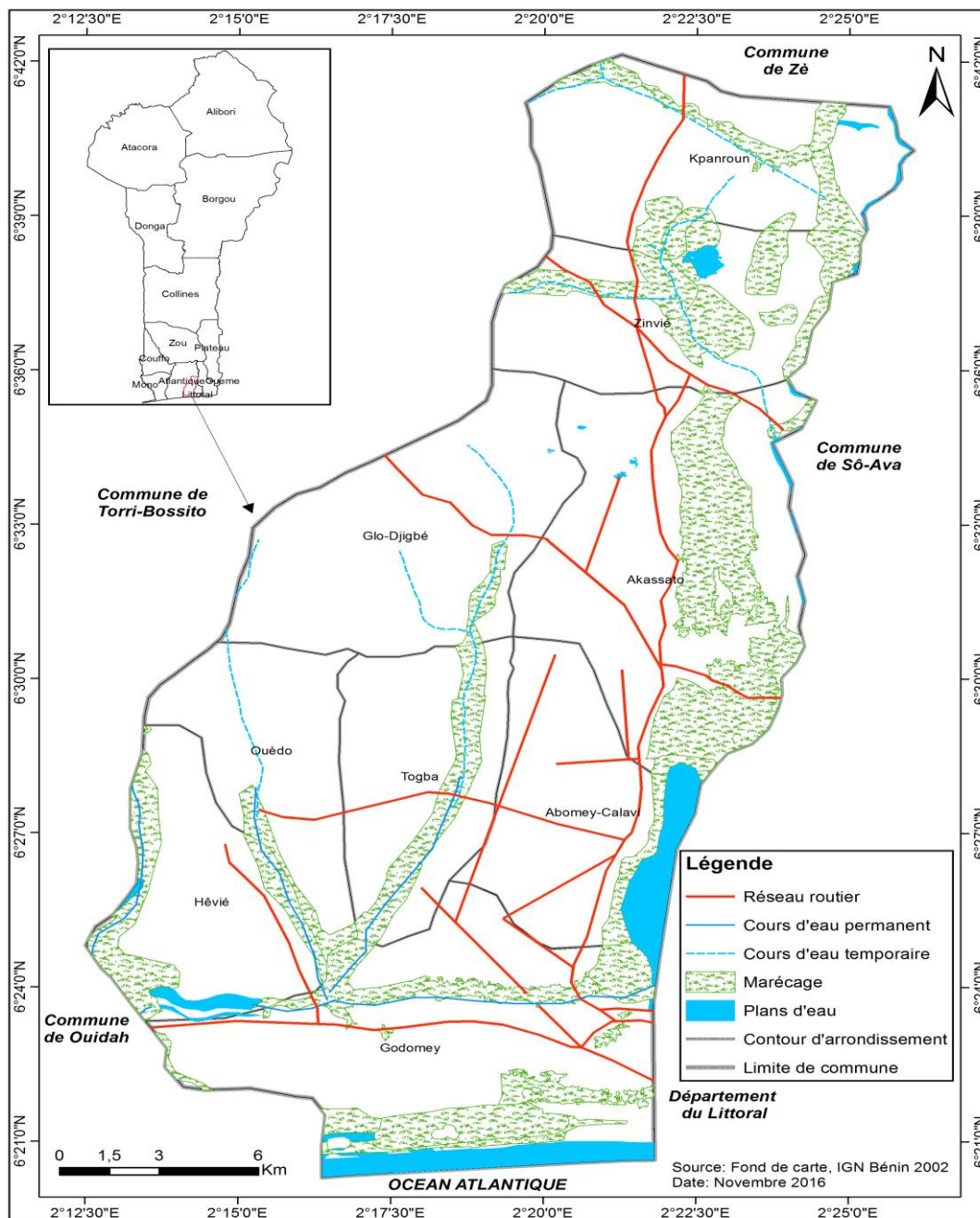
consommation alimentaire urbaine journalière de millions de consommateurs à revenu faible ou moyen dans les zones urbaines. Pour un grand nombre de personnes aux ressources limitées, les aliments de rue sont souvent le moyen le moins coûteux et le plus accessible d'obtenir un repas équilibré au plan nutritionnel hors de la maison, à condition que le consommateur soit informé et à même de choisir la combinaison adaptée d'aliments [1].

La préparation et la vente de ces aliments fournissent une source de revenus régulière à des millions d'hommes et de femmes des pays en développement, mais dont l'éducation et les compétences dans la transformation alimentaire sont souvent limitées, et qui initient cette activité professionnelle avant tout pour échapper à la pauvreté, notamment du fait qu'elle nécessite un faible investissement initial [2]. En Afrique, ce phénomène de l'alimentation de rue s'est fortement développé au cours des trente dernières années, sous l'effet conjugué de l'exode rural et de la croissance démographique des villes. Le réservoir de main d'œuvre s'est fortement accru, tandis que les trajets domicile - lieu de travail se sont faits beaucoup plus longs : trouver une solution pour consommer un repas sur place devient crucial. L'alimentation de rue a aussi l'avantage de procurer des débouchés aux producteurs agricoles urbains et périurbains et aux transformateurs locaux de denrées alimentaires, et contribue en outre à la croissance économique locale et nationale [3]. Aujourd'hui, les autorités locales, les organisations internationales et les associations de consommateurs sont de plus en plus conscientes non seulement de l'importance socioéconomique des aliments vendus dans les rues, mais aussi des risques qui leur sont associés. La principale préoccupation concerne la sécurité sanitaire des aliments, mais on signale également d'autres problèmes, comme ceux liés à l'assainissement (accumulation de déchets dans les rues et congestion des égouts), aux encombrements de circulation qui gênent aussi les piétons (occupation des trottoirs par les vendeurs ambulants et accidents de la circulation), à l'occupation illégale de l'espace public ou privé et à des problèmes sociaux (main-d'œuvre enfantine, concurrence déloyale vis-à-vis du commerce officiel, etc.) [4]. Le risque d'intoxication alimentaire associé aux aliments vendus sur la voie publique reste une menace dans de nombreuses parties du monde, la contamination microbiologique étant l'un des problèmes majeurs. Il est reconnu que les agents pathogènes d'origine alimentaire représentent pour la santé un danger grave, le risque dépendant principalement du type d'aliment, et de la méthode de préparation et de conservation [5]. L'ignorance des vendeurs ambulants quant aux causes des maladies d'origine alimentaire est un facteur de risque qu'on ne peut ignorer. Le manque d'hygiène, l'accès inadéquat au réseau d'adduction d'eau potable et l'élimination des déchets, ainsi qu'un milieu insalubre (comme la proximité d'égouts et de terrains de décharge publique) augmentent ultérieurement les risques pour la santé publique. L'emploi impropre d'additifs (souvent des colorants non autorisés), les mycotoxines, les métaux lourds et d'autres contaminants (comme les résidus de pesticides) sont des dangers additionnels présentés par ces aliments [6]. Enfin, bien que de nombreux consommateurs affirment attribuer de l'importance à l'hygiène quand ils choisissent un vendeur ambulant pour ces aliments, ils ignorent souvent les dangers pour la santé qui leur sont associés. Dans la commune d'Abomey - Calavi, il y a presque dans tous les coins de rue des vendeurs ou vendeuses d'aliments solides ou liquides, prêts à être consommés. Ainsi, comme tant d'autres villes, Abomey-Calavi n'échappe pas à la règle et est confrontée aux effets néfastes de la restauration de rue sur la santé des populations. C'est, en effet, une activité génératrice de revenus qui permet à ses acteurs d'avoir accès au marché de travail malgré leur bas niveau d'instruction. Cependant, les repas de rue ne jouent pas pleinement leur rôle nutritif puisqu'ils sont souvent source de contamination microbienne du fait des mauvaises pratiques d'hygiène lors de la manipulation des aliments. Cette recherche permet donc d'analyser les impacts de la restauration de la rue sur la santé des populations dans la Commune d'Abomey-Calavi.

## 2. MERIELS ET METHODES

### 2.1 Secteur d'étude

La commune d'Abomey-Calavi (figure 1) est située au sud du Bénin. Elle est située dans la partie sud du pays et du département de l'atlantique. Elle est limitée au nord par la commune de Zè, au sud par l'océan Atlantique, à l'est par les communes de Sô-Ava et de Cotonou et à l'ouest par les communes de Tori-Bossito et de Ouidah. C'est la commune la plus vaste du département de l'Atlantique dont elle occupe plus de 20 %. Elle s'étend sur une superficie de 539 km<sup>2</sup> et représentant 0,48 % de la superficie nationale. La commune d'Abomey-Calavi compte cent quarante-neuf (149) villages et quartiers de ville dirigés par des chefs de village ou de quartiers de ville et répartie sur 9 arrondissements que sont Calavi centre, Akassato, Godomey, Ouèdo, Hêvié, Kpanroun, Togba, Golo Djigbé et Zinvié.



**Figure 1 :** Localisation géographique du secteur d'étude.

## 2.2 Conception d'études

L'enquête de terrain entreprise pour cette recherche a visée la collecte d'informations sur les conditions générales d'hygiène dans divers points de vente d'aliments, la disponibilité d'équipements d'hygiène et d'assainissement de base dans les restaurants, ainsi que les mesures prises en matière d'hygiène.

### 2.2.1. Méthodes de collecte de données

L'approche méthodologique adoptée a été une combinaison de l'approche qualitative et quantitative. L'approche qualitative a impliqué l'utilisation d'outils, de techniques, et de principes de la Méthode Active de Recherche Participative (MARP), tels que l'entretien individuel et semi-structuré. Cette méthode a été principalement utilisée lors des échanges avec les restaurateurs et restauratrices de la Commune d'Abomey-Calavi pour discuter des facteurs de contamination dans les restaurants. L'observation participative et la consultation de documents ont également été utilisées.

En ce qui concerne l'approche quantitative, des méthodes telles que l'entretien structuré (questionnaire) et l'examen des facteurs de contamination des aliments ont été employées. Le choix des personnes enquêtées s'est basé sur un échantillon bien défini.



Dans le cadre de cette étude, la technique d'échantillonnage en boule de neige a été choisie en raison de la complexité et de la diversité de l'activité du commerce de l'alimentation de rue. Cette technique a été utilisée pour surmonter les défis liés à l'identification de la population mère et à la localisation géo-spatiale.

Cependant, en raison de la nature informelle du secteur de la restauration de rue, caractérisé par un faible niveau d'organisation et de statistiques, l'obtention de données fiables est difficile.

Un total de 251 points de vente ont été identifiés, en excluant les cafétérias et les restaurants plus confortables, ainsi que les vendeurs ambulants. Cent cinquante vendeurs ont été interrogés, représentant environ 60% de l'échantillon. En plus des vendeurs de rue, huit vendeuses de certains établissements scolaires ont été incluses dans l'étude.

Les consommateurs interrogés, choisis de manière raisonnée sur les lieux de vente, totalisent 225, comprenant des fonctionnaires, des artisans, des conducteurs de taxis-motos, et des étudiants. Les données ont été collectées dans des établissements spécifiques sélectionnés en fonction de leur notoriété à Abomey-Calavi.

## 2.2.2. Analyse et traitement de données

En ce qui concerne le traitement des données, toutes les informations ont été saisies dans Word et converties en tableaux dans Excel. Sur les 385 fiches remplies (vendeurs: 158, consommateurs: 225, autorités municipales: 2), seules 302 ont été retenues après élimination de celles incomplètes à 75%.

La phase de dépouillement a été réalisée manuellement. Les données ont été identifiées, classifiées, et des échantillons ont été analysés au Laboratoire National de Contrôle des Aliments et de l'Eau de la DHAB. Le tableau I présente ces échantillons.

**Tableau 1** : Le tableau montre la liste des prélèvements.

Numéro de l'échantillon	Prélèvements
1.	Piron + croupion de dinde
2.	Eau de rinçage des assiettes
3.	Riz + œuf+ friture
4.	Riz + macaroni+ poisson
5.	Pain + Avocat+ poisson haché
6.	Eau de rinçage des assiettes
7.	Ataci+ friture
8.	piron + saucisse
9.	Atchèkè+ haricot+ poisson
10.	Eau de rinçage
11.	Haricot+ voandzou+ friture
12.	Pain+ mayonnaise+ poisson haché

(Source : travaux de terrain, octobre 2019).

## 2.2.3. Analyse bactériologiques

- **Les Micro-organismes et Leur Impact sur la Préparation Alimentaire** : Les micro-organismes, communément désignés sous le terme de bactéries, représentent une menace sérieuse dans le contexte de la préparation alimentaire, pouvant déclencher des infections graves, voire mortelles. Leur dangerosité est accentuée par leur invisibilité à l'œil nu. Bien que certaines altérations visuelles des aliments puissent indiquer leur présence, cela n'est pas toujours perceptible. Afin de détecter de manière fiable la présence de ces micro-organismes, la réalisation d'une analyse bactériologique des aliments s'avère essentielle.
- **Milieux de Culture Bactériologique : Un Aperçu** : Le terme "milieu de culture" fait référence à un substrat sur lequel les micro-organismes, tels que les bactéries et les virus, peuvent se développer grâce à l'introduction de produits chimiques favorables à leur croissance. Dans le cadre de cette étude, plusieurs milieux de culture ont été employés pour les analyses bactériologiques.
- **Types de Milieux Utilisés pour les Analyses** :

### 1. Milieux Utilisés pour les Aliments

Pour les analyses des aliments, trois milieux de culture distincts ont été sélectionnés en fonction de leurs propriétés spécifiques :

- **Milieu PCA (Plate Count Agar)**: Utilisé pour le dénombrement des bactéries communes. Incubation pendant 24 heures à 37 °C.
- **Milieu Désoxycolate Inoculation**: Utilisé en plaque à 30 °C en 24 à 48 heures pour les coliformes totaux.

Incubation à 44 °C en 24 à 48 heures pour les coliformes fécaux.

- **Bouillon Tétrathionate de Potassium:** Incubation à 37 °C en 24 heures pour le dénombrement des Salmonelles-Shigelles.

Utilisation du milieu XLD (Xylose Lysine Deoxycholate) à 43 °C en 24 heures pour compléter l'analyse.

## 2. Milieux Employés pour les Eaux de Rinçage

Dans le cadre de la recherche des coliformes totaux et des coliformes fécaux dans les eaux de rinçage, les milieux de Mac Conkey ont été utilisés avec des conditions d'incubation spécifiques :

Incubation à 37 °C pendant 24 heures.

Incubation à 44 °C pendant 24 heures.

L'analyse de l'eau a été davantage qualitative que quantitative, basée sur les connaissances acquises et les informations recueillies lors du dépouillement des fiches et questionnaires. Une évaluation des différents points d'eau a été réalisée en conséquence.

Les bactéries, souvent désignées comme des microbes dangereux dans le contexte de la préparation alimentaire, sont des micro-organismes responsables d'infections graves, parfois mortelles. Leur dangerosité est accrue par leur invisibilité à l'œil nu. Bien que certains signes visuels puissent indiquer leur présence, ces indications ne sont pas toujours évidentes. Une méthode fiable pour détecter la présence de bactéries dans les aliments est de réaliser une analyse bactériologique approfondie.

### Les Milieux Bactériologiques Utilisés

L'analyse bactériologique implique l'utilisation de milieux de culture spécifiques, favorables au développement des micro-organismes tels que les bactéries et les virus. Ces milieux de culture sont essentiels pour permettre la croissance et la détection des bactéries présentes dans les échantillons alimentaires.

### Les Milieux Utilisés pour les Aliments

Trois milieux de culture ont été employés pour l'analyse des aliments :

#### Milieu PCA (Plate Count Agar) :

Utilisé pour le dénombrement des bactéries banales, ce milieu permet la croissance des colonies après 24 heures à 37 °C.

#### Milieu désoxycolate :

Utilisé pour l'inoculation en plaque à 30 °C en 24 à 48 heures pour les coliformes totaux et à 44 °C en 24 à 48 heures pour les coliformes fécaux.

#### Bouillon tétrathionate de potassium et milieu XLD :

Employés à 37 °C en 24 heures pour le dénombrement des Salmonelles-Shigelles et à 43 °C en 24 heures pour le milieu XLD.

### Les Milieux Utilisés pour les Eaux de Rinçage

Pour la recherche des coliformes totaux et des coliformes fécaux dans les eaux de rinçage, les milieux de Mac Conkey ont été utilisés à 37 °C pendant 24 heures et à 44 °C pendant 24 heures, respectivement. Il convient de noter que l'analyse était plus qualitative que quantitative.

### Évaluation des Points d'Eau

À la lumière des connaissances acquises et des informations recueillies à partir des fiches et questionnaires, une évaluation des différents points d'eau a été réalisée pour établir une compréhension approfondie de la qualité microbiologique des échantillons analysés.

## 3. RESULTATS ET DISCUSSION

**3.1. Agents d'altération des aliments :** Les agents d'altération des aliments englobent une diversité d'organismes présents dans les matières premières, dépassant ainsi la catégorie des germes classiques responsables des toxi-infections alimentaires. Leur action, initialement insidieuse, évolue pour se manifester par des signes évidents de putréfaction, caractérisés par des odeurs distinctes telles que le "relent", celle d'une serpillière sale, ou encore celle d'un œuf pourri. Les substances produites suite à cette altération, bien que souvent en petites quantités, demeurent hautement actives, exerçant des effets notables sur le cerveau, les vaisseaux sanguins et le tube digestif. Cette cascade d'altération induit une dépréciation des produits alimentaires, voire représente un danger potentiel pour le consommateur.

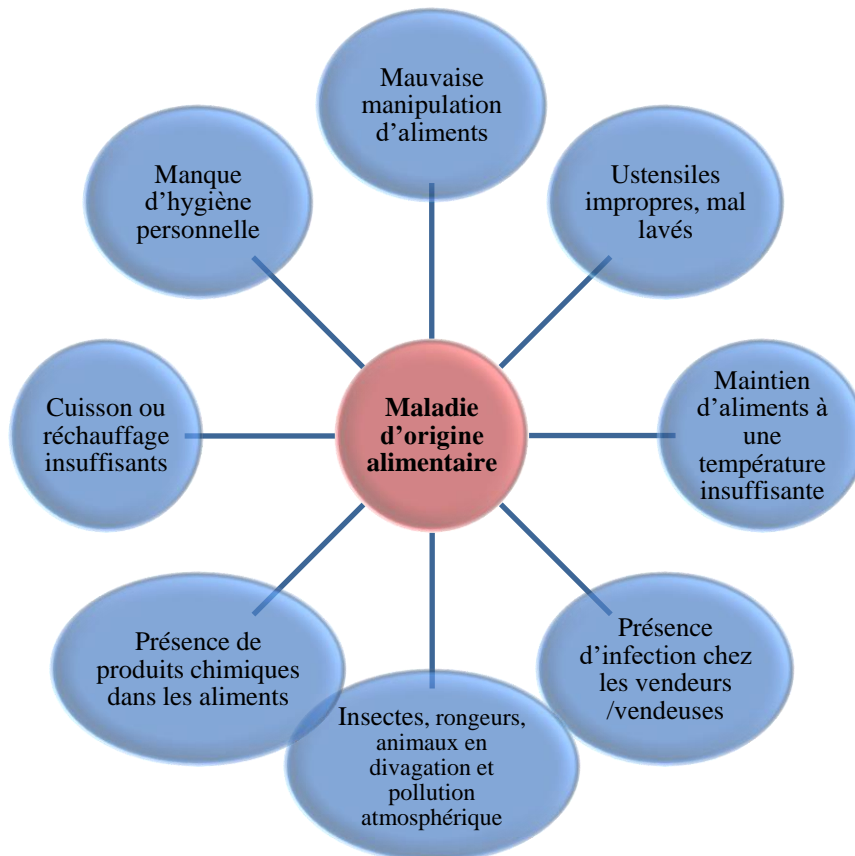
Divers agents participent à ce processus, notamment des agents chimiques responsables de l'oxydation des pigments et des graisses, des agents biochimiques tels que les enzymes tissulaires, des agents physiques induisant une déshydratation superficielle ou profonde, et enfin, des agents microbiens. Ces derniers, par leur prolifération et la production de produits de catabolisme, contribuent significativement à altérer la fraîcheur intrinsèque des aliments. Une compréhension approfondie de ces mécanismes d'altération est cruciale pour évaluer la qualité des produits alimentaires et garantir la sécurité alimentaire.

En ce qui concerne les agents responsables des principales affections humaines d'origine alimentaire, elles se différencient en toxi-infection, intoxication et intoxication [7].

Agents responsables des toxi-infections alimentaires : Les principaux germes responsables des toxi-infections comprennent Salmonella, Shigella, Clostridium perfringens, Bacillus cereus, Vibrio-parahaemolyticus, Campylobacter, Yersinia enterocolitica, et les colibacilles [8]. En cas de toxi-infection, les micro-organismes vivants présents dans l'aliment provoquent, par leur multiplication dans les entérocytes de l'intestin grêle et du colon, et éventuellement par la production de toxines protéiques ou glucido-lipido-protéiques, des effets pathologiques variés tels que l'invasion, l'action cyto-toxique et cytotoxique. La diarrhée, les douleurs intestinales et la fièvre sont des manifestations courantes [9].

Agents responsables des intoxications alimentaires : Les intoxications alimentaires se produisent à la suite de l'ingestion de toxines préformées dans l'aliment. Les signes cliniques sont variés, comprenant vomissements, diarrhées et douleurs abdominales, ainsi que des syndromes d'ordre neurologique, vasculaire et hématologique [10]. Les principaux agents en cause sont Staphylococcus aureus et Clostridium botulinum.

**3.2. Synthèse des facteurs favorisant les maladies d'origine alimentaire :** La figure 2 montre que les facteurs favorisant les maladies d'origine alimentaire sont essentiellement anthropiques (dus à l'action de l'homme).



**Figure 2 :** Récapitulatif des facteurs favorisant les maladies d'origine alimentaire.

Il s'agit du manque d'hygiène personnelle. Les ustensiles mal lavés, la présence d'infections chez les gérants de maquis (coupure, infections cutanées), la présence de produits chimiques dans les aliments (pesticides), la présence d'insectes, de rongeurs et d'animaux domestiques en divagation qui souillent les aliments de par leurs excréments et leurs sécrétions buccales est une pure négligence de la part des manipulateurs.

**3.3. Résultats des analyses en laboratoire**

Les résultats d'analyse en laboratoire des différents prélèvements sont consignés dans le tableau II.

**Tableau 2:** Résultat d'analyse de quelques aliments.

Prélèvement		RESULTATS																			
Types	Normes	Riz+ sauce+ friture				Piron+ croupions		Pain+ avocat+ poisson haché		Tchapalo		Ataci		Poisson+ atchêkè+ haricot		Haricot+ friture		Dernière eau de rinçage			
Bactéries banales par ml	5.10 <sup>4</sup> /g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
		600	480	620	640	720	460	780	TND	TND	TND	500	180	900	720	TND	TND	TND	TND		
Coliformes fécaux	10 <sup>1</sup> /g	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	7.10 <sup>5</sup>	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	2,3.10 <sup>6</sup>	4.10 <sup>3</sup>	9.10 <sup>5</sup>	21.10 <sup>2</sup>		
Coliformes totaux	10 <sup>1</sup> /g	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	9.10 <sup>5</sup>	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	Moins de 0.1	7.10 <sup>6</sup>	9.10 <sup>4</sup>	9.10 <sup>6</sup>	2,3.10 <sup>3</sup>		
Salmonella-shiguellia	zéro/100ml	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent		

Source : Fiche d'analyse (Laboratoire SHAB) ; **TND** = Trop Nombreux pour être Dénombré.

Le tableau de résultats présente des analyses microbiologiques sur divers types d'aliments et environnements. Les bactéries banales par ml dans les échantillons montrent des variations significatives, avec des valeurs allant de 460 à 780, à l'exception de la dernière eau de rinçage où la quantité est non déterminée (TND). Ces résultats soulignent une diversité microbiologique selon les sources alimentaires.

En ce qui concerne les coliformes fécaux, tous les échantillons présentent des niveaux inférieurs à la norme, démontrant une conformité aux standards établis. Cependant, le neuvième prélèvement (7.10<sup>5</sup>) révèle une présence inhabituelle, indiquant une possible contamination.

Pour les coliformes totaux, la plupart des échantillons respectent les normes, mais le seizième prélèvement (7.10<sup>6</sup>) se distingue avec une valeur notablement élevée, nécessitant une attention particulière en matière de sécurité alimentaire.

En ce qui concerne Salmonella-shiguellia, tous les échantillons sont conformes, montrant une absence totale de ces agents pathogènes dans les prélèvements, ce qui est rassurant du point de vue de la santé publique. Cependant, une analyse plus approfondie et une surveillance continue sont nécessaires, en particulier là où des niveaux inhabituels de coliformes fécaux et totaux ont été observés, afin de garantir une sécurité alimentaire optimale.

### 3.4. Toxi-infections alimentaires

#### 3.4.1. Toxi-infections à *Clostridium perfringens*

Bacille gram positif, sporulant, anaérobie, *Clostridium perfringens* est le germe le plus fréquent en restauration de rue, d'après [11]. L'incubation varie de 6 à 12 heures. Le pouvoir entéro-toxique apparaît lors de la multiplication et de la sporulation de ces germes. La symptomatologie est essentiellement digestive. Les signes digestifs sont modérés et réduits le plus souvent à des coliques et à de la diarrhée. La sédation est rapide en 12-24 heures. Les aliments incriminés sont surtout les viandes et les abats (langue en particulier) présentés en masse volumineuse, souvent bouillis ou cuits, soumis à un refroidissement lent à température ambiante, puis servis froids ou réchauffés.

Germe tellurique et intestinal, *Clostridium perfringens* est un contaminant des aliments, apportés par les souillures des denrées par les fécès (évacuation eaux polluées) ou par les manipulations des malades ou des porteurs de germes.

#### 3.4.2. Toxi-infection à *Salmonella*

Ce sont des toxi-infections dues à des entérobactéries, gram négatif du genre *Salmonella*.

Les symptômes surviennent après une incubation relativement longue (12 à 24 heures). Le début est progressif, avec des signes digestifs assez intenses (douleurs abdominales, diarrhée, vomissements) accompagnés de fièvre qui peut atteindre 39° à 40°C. L'évolution plus longue se prolonge pendant 3-4 jours. A l'origine, on trouve le plus souvent de la viande, notamment la viande hachée de cheval, consommée crue ou saignante.

### 3.4.3. Shigelloses

Ce sont des affections proches des toxi-infections à *Salmonella*, mais sont exclusivement humaines. Elles sont présentes dans les pays chauds. La contamination se fait par l'eau de boisson et les légumes. Cliniquement, elles sont caractérisées par des diarrhées sanguinolentes et de faux besoins d'où leur appellation de dysenteries (bacillaires).

### 3.4.4. Botulisme

C'est une neuro-intoxication, due à l'ingestion d'une toxine préformée dans l'aliment et élaborée par *Clostridium botulinum*. Il existe 6 types de *C. botulinum* : A, B, C, D, E, F, mais ce sont les types A, B et E qui sont responsables du botulisme humain.

La toxine agit à des doses infimes (0,2 µg peut tuer un homme) en bloquant les synapses des nerfs, mais n'atteint pas le système nerveux central. La maladie débute dans un délai variable de quelques heures à deux jours avec des douleurs abdominales, coliques, vomissements. Le sujet est prostré, mais n'a pas de fièvre. Puis s'installent des troubles oculaires des paralysies diverses traduisant l'intoxication du système nerveux. On constate parfois aussi des troubles sécrétoires (sécheresse buccale, soif intense, parésie intestinale...).

Les spores de *C. botulinum* sont thermorésistantes, mais la toxine botulinique est sensible à la chaleur (elle est détruite à la température de 100°C en 10 minutes). Les aliments dangereux sont les conserves, les produits de charcuterie et de pêche.

### 3.4.5. Maladies d'origine alimentaire

Il s'agit de maladies bactériennes, virales ou parasitaires.

#### ➤ Fièvre typhoïde et paratyphoïde

Elles sont dues à des germes du genre *salmonella* (bacille d'Eberth et bacilles paratyphiques A, B et C). La fièvre typhoïde se manifeste essentiellement par un syndrome de gastro-entérite fébrile caractérisé par des lésions hémorragiques du tube digestif allant parfois jusqu'à la perforation.

A l'origine d'une épidémie de fièvre typhoïde, on peut retrouver l'eau, les crudités, les coquillages, les pâtisseries, le lait et ses dérivés s'ils n'ont pas été pasteurisés ou stérilisés. La fièvre paratyphoïde est moins sévère.

#### ➤ Les parasitoses intestinales

Les parasites, kystes ou œufs de parasites (ascaris, oxyures, douves, ténia notamment) peuvent être à l'origine de différents troubles intestinaux, après absorption de crudités telles que salades, cressons insuffisamment lavés, ou absorption de viande mal cuite. L'amibiase due à une amibe pathogène *Entamoeba dysenterie*, est très répandue dans les pays chauds. Elle n'atteint que l'homme chez qui elle se manifeste par des coliques violentes et des selles sanguinolentes.

#### ➤ Brucellose

La brucellose (fièvre de Malte, mélitococcie, fièvre ondulante ou fièvre sudoroalgique) est une maladie infectieuse, contagieuse, commune à de nombreuses espèces animales et à l'homme. Elle est due à des bactéries, dont les plus connues, sont :

- *Brucella abortus* : associée à la brucellose bovine ;
- *Brucella melitensis* : associée à la brucellose des petits ruminants ;
- *Brucella suis* : associée à la brucellose porcine.

La transmission à l'homme se fait de 2 manières :

- Par contact avec les animaux malades ou tués (maladie professionnelle) cas de *B.abortus*.
- Par ingestion : le germe persiste dans le lait cru et les fromages frais non pasteurisés, en particulier dans le fromage de bœuf.

Les troubles surviennent 2 à 4 semaines après l'ingestion, sous forme d'une fièvre ondulante (fièvre irrégulière) accompagnée d'une grande fatigue. Puis surviennent des lésions chroniques, entraînant des douleurs articulaires, génitales, neuro-méningées, etc.

#### ➤ Hépatites à virus

L'hépatite virale A est une maladie exclusivement humaine, se traduisant par de la fatigue, des troubles digestifs, des maux de tête, de la fièvre et de l'ictère. Il n'y a pas de multiplication de virus dans les aliments qui servent simplement de support.

### ➤ Intoxications alimentaires

Ce sont des troubles provoqués par des produits chimiques :

- contenus dans les aliments eux-mêmes : cas de l'histidine contenu dans les poissons de type scombridés qui est transformé en histamine par des bactéries. L'histamine se développe après la mort du poisson si ce dernier n'est pas conservé dans de bonnes conditions. On observe essentiellement des troubles tels que diarrhées et vomissements et des allergies cutanées,
- additionnées aux aliments par accident (pesticides) ou dans un but de conservation (additifs),
- présents à la surface du matériel insuffisamment rincé (détergents),
- présents dans les aliments sous forme de résidus de produits curatifs ou de suppléments alimentaires (antibiotiques provoquant des allergies et antibiorésistance chez l'homme),
- issus des pratiques culinaires : hydrocarbures aromatiques polycycliques (H.A.P.) réputés cancérigènes.
- élaborés par des moisissures : cas des mycotoxines notamment les aflatoxines qui peuvent passer dans le lait, la viande, à partir d'aliment du bétail. Ces aflatoxines ont des effets cancérigènes chez l'homme. Au Bénin, quatre cent trente-quatre(534) cas d'intoxications alimentaires ont été enregistrés de 2002 à 2018 (statistique MS).

### 3.5. Stratégies de réduction des risques de contamination des maladies liées à la restauration de rue à Abomey-Calavi

**3.5.1. Stratégies des vendeurs à Abomey-Calavi :** Certaines vendeuses ont leur propre stratégie pour réduire les risques de contaminations microbiennes. Ainsi certaines après la vaisselle, range les plats dans un sachet plastique en vue de les protéger contre les mouches et poussières. D'autres choisissent de faire, contrairement à ce qui est courant de faire, le beignet du haricot avec la cuillère. Quelques vendeuses prennent également le couteau pour prendre l'igname préparée. Les cuillères et louches sont également lavées et mises dans de l'eau chaude sur un feu doux (photo 1).



**Photo 1 :** Louche et cuillères sur un feu doux.  
*Prise de vue: GNELE L., Octobre 2019.*

Certaines vendeuses laissent les cuillères dans de l'eau chaude pour les désinfecter, mais malheureusement ces dernières ne sont pas nombreuses.

Pour réduire les risques des maladies liées à la restauration de rue, l'OMS en collaboration avec la FAO élabore en octobre 2006, cinq principes appelés les cinq clés pour les aliments surs qui s'énoncent comme suit :

- 1- Prendre l'habitude de la propreté
- 2- Séparer les aliments crus des aliments cuits
- 3- Faire bien cuire les aliments
- 4- Maintenir les aliments à une bonne température
- 5- Utiliser de l'eau potable et des produits surs.

C'est sur la base des cinq clés que les agents de la sécurité alimentaire et les structures nationales telles que la SHAB et la DANA sensibilisent les agents de la restauration de rue pour réduire les risques de maladie liées à l'alimentation.

## 4. CONCLUSION

Le secteur de la restauration de rue joue un rôle capital dans le renforcement de la sécurité alimentaire, contribue significativement aux défis socio-économiques des populations, et constitue un moteur essentiel de l'activité économique de la Commune d'Abomey-Calavi. Malgré son importance socio-économique, la restauration de rue présente de nombreux risques résultant du non-respect des règles d'hygiène. Les observations sur le terrain révèlent un niveau d'hygiène encore insatisfaisant sur les plans environnemental, corporel et alimentaire. Les facteurs tels que l'environnement de distribution des aliments, les ustensiles mal lavés, les infections chez les gérants de maquis, la présence de produits chimiques dans les aliments, ainsi que la présence d'insectes, de rongeurs et d'animaux domestiques en divagation sont autant de sources potentielles de contamination des aliments de rue.

En dehors des eaux de rinçage et du tchapalo, les coliformes totaux et fécaux, responsables des maladies diarrhéiques, sont présents dans tous les aliments à des niveaux inférieurs à 0.1 micro-organisme. Pour les eaux de rinçage, les coliformes fécaux varient de  $21.10^2$  à  $2,3.10^6$ , les coliformes totaux de  $2,3.10^3$  à  $9.10^6$ . Heureusement, la salmonella-siguellia, germe responsable de la fièvre typhoïde, est absente dans tous les prélèvements.

La restauration de rue peut être à l'origine de divers troubles chez le consommateur, tels que la fièvre typhoïde et paratyphoïde, les parasitoses intestinales, la brucellose et les hépatites à virus, qui sont parmi les maladies les plus fréquentes chez les consommateurs d'aliments de rue dans la Commune d'Abomey-Calavi. Afin d'adresser ces problèmes, il est impératif de mettre en place un programme de planification urbaine intégrant le secteur de la restauration de rue dans la commune. Cette planification nécessitera la collaboration de l'État, de la municipalité, des populations et d'autres acteurs de développement tels que les ONG. L'État doit assurer la coordination des actions et le financement du secteur, tandis que la municipalité doit jouer un rôle régulateur sur ses territoires respectifs.

## 5. REFERENCES

1. Leyinda Lekingani UE. Analyse des effets socio-économiques du commerce des aliments de rue dans la zone de Dakar: cas de la commune d'arrondissement d'Ouakam. Mémoire de master en planification économique, École nationale d'économie appliquée du Sénégal. 2012; 78p.
2. GOZO E. Education relative à l'environnement et situation sanitaire des ménages dans le 1er, 5ème et 9ème arrondissement de Cotonou. Mémoire de maîtrise en géographie, DGAT, UAC, FLASH. 2013; 70p.
3. Garin B, Aidara A, Spiegel A. Multicenter study of street foods in 13 towns on four continents by the food and environmental hygiene study group of the international network of Pasteur and associated institutes. *J Food Prot.* 2002; 65(1):146-52.
4. Tossavi B. Restauration de rue et risque sanitaire dans le cinquième arrondissement de la ville de Porto-Novo. Mémoire de maîtrise, FLASH/UAC. 2009; 76p.
5. Yoro N, Koua N, et Dosso N. Bilan des analyses microbiologiques des aliments à Abidjan de 1990 à 1995. In microbiologie hygiène alimentaire. 2003 ; 15(44): 39-42.
6. Sylla KSB et Seydi Mg. Étude de la qualité hygiénique du poisson utilisé en restauration collective universitaire à Dakar (Sénégal). In RASPA. 2003; 1(1): 17-23.
7. Bacha D. Gestion d'une Toxi-infection Alimentaire Collective en Milieu Militaire. *Revue Médicale de l'HUMRO.* 2015 ;2(1) : 62-63.
8. Elomaria M, Ahami AOT, Aboussaleh Y, Elbouhali B, Cherrah Y et soulaymani A. Origine environnementale des intoxications alimentaires collectives au Maroc. Cas de la région du Gharb Chrarda Bni Hssen. *Antropo.* 2007; pp. 83-88.
9. Bouchrif B, Cohen N, Ennaji M, Ait M'hand R et Timinouni M. Lutte et Prévention des Toxi-infections Alimentaires à Salmonelles. 1er symposium de Virologie au Maroc. Marrakech. 2003; 12p.
10. Boudaoud S et Mouhoubi F. Contribution à une étude épidémiologique du goitre endémique dans quelques régions rurales et périurbaines de la wilaya de Béjaia. Mémoire de fin de cycle Master. Option: Environnement et Santé Publique. Université Abderrahmane Mira. Bejaia. 2014; 49p.
11. Hatangimana CP. Restauration de rue et santé des populations dans la ville d'Abomey-Calavi, Mémoire de maîtrise en géographie UAC. 2008; 70p.



How to cite this article: **Baï Dodji Laurenda Carmen GNELE, Pierre OUASSA, Expédit Wilfrid VISSIN, et Moussa GIBIGAYE.** RESTAURATION DES RUES ET RISQUES SANITAIRES DANS LA COMMUNE D'ABOMEY-CALAVI, AU SUD DU BENIN, EN AFRIQUE DE L'OUEST. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4): 249-252. DOI: [10.5281/zenodo.8425742](https://doi.org/10.5281/zenodo.8425742)

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

**Aganze Birindwa Mirobolant<sup>1</sup>, Ken Yumba Musoya Lenge<sup>1</sup>, Bwira Mahimba James<sup>1</sup>,  
Kongolo Kiluba Carmel<sup>1</sup>; Mwamba Kayenga Jean<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup>Université de Manono (UMA), département de géologie, Manono,  
Tanganyika, DR Congo.

**Abstract:** The Kyofwe sector is located at west of the city of Manono territory, Tanganyika province, in the DR Congo. The vegetation is extensive and characteristic of shrubby and wooded savannah. It is located at coordinates S07°16'10.8'' and E 26°47'22.6''

This sector is characterized by Precambrian formations which are metasediments related to Kibarian and Phanerozoic ones.

The carbonate rocks in the area are specifically dolomites, limestone and marl, as well as vacuolar tuff. These carbonate rocks would have different applications including the manufacture of chalk and in construction for painting, in the manufacture of soda and cement. It can act as reservoirs for oil deposits. From the technique applicable for the artisanal production of lime, the technique designed remains the same as specified in this work.

**Résumé :** Le secteur de Kyofwe est localisé à l'Ouest de la cité de Manono, territoire de Manono dans la province Tanganyika en R.D. du Congo. La végétation y est étendue et caractéristique de savane arbustive et arborée. Il se trouve au point de coordonnées S 07°16'10.8'' de longitude et E 26°47'22.6'' de latitude.

Ce secteur est caractérisé par des formations précambriennes qui sont des metasédiments liés au Kibarien et celles phanérozoïque. Les roches carbonatées du secteur sont spécifiquement des dolomies, calcaire et marne, ainsi que de tuf d'aspect vacuolaire. Ces roches carbonatées auraient différentes applications dont la fabrication des craies et dans la construction pour peindre, la fabrication de la soude, dans la fabrication du ciment et intervient comme réservoirs de gites pétrolier. De la technique applicable pour la production de chaux, la technique conçue reste la même comme spécifié dans ce travail.

**Mots clés :** Kibarien, kyofwe, dolomie, calcaire,



***Intérêt des roches carbonatées de l'Est de la cité de Manono, dans le secteur de kyala au Tanganyika/  
RD Congo.***

## **1. INTRODUCTION**

Le secteur de Kyofwe est localisé à l'Ouest de la cité de Manono, territoire de Manono dans la province Tanganyika en R.D. du Congo. Il se trouve au point de coordonnées S07°16'10.8'' et E 26°47'22.6''

La végétation se distingue par de grandes étendues de savane arbustive et arborée. [1],

Ce secteur est caractérisé par des formations précambriennes qui sont des metasédiments. [2], recoupés par des pointements granitiques de type supracristal.

Nous y observons des formations des couvertures récentes du cénozoïque et des intrusions magmatiques.

Notre travail s'inscrit dans l'étude géologique à moyenne échelle des roches carbonatées du secteur de Kyala avec comme objectif principal de :

- Déterminer les types lithologiques carbonatés dans ce secteur et leurs caractéristiques
- Identifier l'utilité de chaux à l'échelle local et régionale
- Elaborer une technique artisanale de transformation des roches carbonatés en chaux.

. Pour ce faire, nous nous posons les questions suivantes :

- Quelle serait les types lithologiques du secteur de Kyala ?
- Quelle serait l'utilité de chaux à l'échelle local et régionale
- Quel serait la technique utilisable artisanalement pour avoir la chaux à partir des roches carbonatées ?

Il s'avère de préciser que les autres aspects pourront faire l'objet d'une étude ultérieure et ainsi s'attacher à ce travail.

Appartenant dans le territoire de Manono, qui est caractéristique des terrains Kibariens, les lithologies de ce secteur seraient les mêmes que celles de kibariens du Tanganyika en république démocratique du Congo. Elles sont du type Grès, Gneiss, Quartzites, schistes, greisens, des dolomies et calcaire, péigmatitique. ...

***Intérêt des roches carbonatées de l'Est de la cité de Manono, dans le secteur de kyala au Tanganyika/  
RD Congo.***

Ce secteur appartiendrait au Kibarien supérieur et il correspond à la série III ou série de Lubudi qui renferme des calcaires dolomitiques souvent silicifiés à stromatolithes, des schistes, des phyllades et des quartzites avec la présence de terrain cénozoïque.

La technique de production sera élucidée dans la suite de ce travail.

## **2. APERCU SUR LE SECTEUR DE KYALA**

Notre secteur d'étude kyala se trouve en R.D. Congo, Province du Tanganyika, Territoire de Manono, Secteur Kyofwe, groupement MYANA MBAYO, à environs 81 Km et à l'Ouest de la cité de Manono. C'est un territoire au climat tropical caractérise principalement par l'alternance de deux saisons dont cinq mois de saisons sèches et sept mois de pluie. La température moyenne à Manono est de 24°C et les précipitations sont en moyenne de 611.5mm. (Bultot, F. 1955) [3],

Le secteur est drainé par 4 rivières dont à l'Est nous avons la rivière KAHEMBAÏ, Au Sud la rivière MUSOÏ, l'Ouest la rivière KOLO et au Nord la rivière KABUO.

On observe une morphologie de plaine, des petites montagnes et colline et des Valley. C'est dans le Valley que se concentre la grande partie des roches carbonatées du secteur d'étude.

## **3. APERCU PETROGRAPHIQUE DES CARBONATES DE KYALA**

A Kyala s'observe plusieurs formations géologiques.

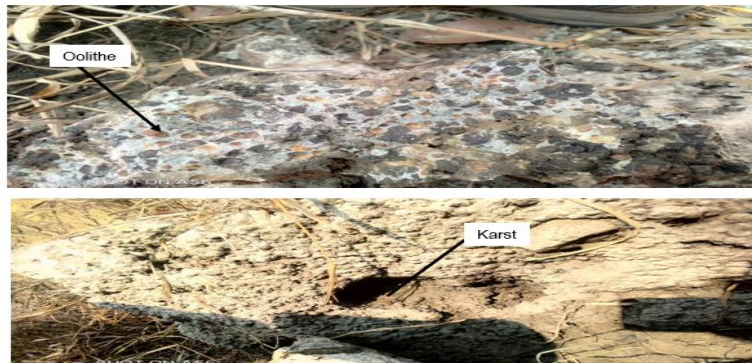
Les roches carbonatées observées dans ce secteur sont : les calcaires, la marnes et dolomie

### **A. Les calcaires**

Sur terrain les roches calcaires ont différentes compositions et structure.

Les calcaires ont une structure orientée avec une composition oolithique et ooïdes du type alpha. Dans ces roches nous observons la présence des boxworks et des petits karsts. La roche est de couleur blanchâtre à grisâtre et est alteréé par endroit. Nous avons aussi à certains endroits les encroutement calcrètes qui donne une consistance à la roche. Dans la grande partie de ces formations calcaires, nous avons aussi les traces des coquilles des gastéropodes.

**Intérêt des roches carbonatées de l'Est de la cité de Manono, dans le secteur de kyala au Tanganyika/  
RD Congo.**



**Fig 2. Démontrant la présence des oôides ou oolithes dans le calcaire sur le terrain d'étude.**

### **B. La marne**

La marne est une roche sédimentaire caractérisée par un mélange de calcite et d'argile.

Sur notre terrain d'étude, nous avons observé que la formation géologique marno-calcaire était caractérisée par une couleur grisâtre. Dans cette formation, la proportion en calcaire a été plus marquée que l'argile. La roche est cohérente et finement poreuse. Elle a pu réagir à la présence de l'acide chlorhydrique. D'où, les caractéristiques principales de la Marne et le nom provisoire accordé à la roche. La roche a une direction et un pendage de N338°/86°. Le pendage qui est presque vertical, nous n'avons pas mis le sens du pendage. A l'échelle de l'affleurement, la roche est affectée des diaclases sub-verticales.



**Fig 3. Démontrant la formation d'une Marne intrudée par des cassures sub-verticales.**

### **C. La dolomie**

La dolomie est une roche sédimentaire d'origine carbonatée caractérisée spécifiquement de carbonate double de calcium et de magnésium. La totalité de la roche devra regorger au moins 50% de dolomite. Sur notre terrain d'étude, cette roche se serait formée suite à un métamorphisme qui a pu métamorphiser une partie de la roche et une autre partie qui n'a pas été métamorphisée. Il s'agirait d'un métamorphisme de contact.

Ce contact s'observe entre la dolomie et le tuf d'aspect vacuolaire.

Ces tufs sont caractérisés par une intercalation d'une couche carbonatée tellement dure avec des boxworks qui sont beaucoup plus visible. Le métamorphisme n'a pas transformé la roche dans son ensemble.

On constate une différence granulométrique.

Le processus de formation de la roche serait lié à une précipitation chimique attachée au processus primaire de la formation de la dolomie. Il s'agirait d'une dolomitisation liée à une évaporation de l'eau pénétrant dans une boue calcaire et ainsi occasionner l'accentuation de la teneur en sel magnésien. D'où, par précipitation, le calcium s'amointrie par concentration de Magnésium. D'où la dolomie et en fin s'en est suivi le processus de métamorphisme.

Cela par ce que la carrière est caractérisée par un bassin peu profond, mais considéré comme un réceptacle des eaux des pluies durant la saison pluvieuse. Durant la saison sèche, on observe une évaporation supérieure à la recharge. Ce qui conduirait à une formation de la dolomie.



**Fig4. Illustrant la dolomie avec une surface de contact net du au métamorphisme.**

Nous avons trouvé des fentes de dessiccation qui sont des figures sédimentaires démontrant un climat aride, dont la période sèche est plus grande que la période humide. Ces fentes sont retrouvées dans une boue carbonatée sèche. Cette boue est de couleur blanchâtre à grisâtre avec présence d'une mousse verdâtre au-dessus. Ces mousses montrant aussi un degré d'humidité existant à près l'évaporation de l'eau dans le bassin. Ceci dans le bassin sédimentaire

***Intérêt des roches carbonatées de l'Est de la cité de Manono, dans le secteur de kyala au Tanganyika/  
RD Congo.***

de carbonate à Kyala, ce qui interviendrait comme un élément de plus confirmant l'hypothèse de formation de roches carbonatées du secteur. La figure suivante illustre les fentes de dessiccation.

#### **4. APERCU SUR L'INTERET DE CHAUX**

Les carbonates, spécifiquement le calcaire constituent des ressources minérales constituant un des éléments clés du développement de l'humanité. Qu'il s'agisse des ressources énergétiques ou des métaux.

Une eau calcaire apporterait la quantité de calcium et de magnésium dont le corps a besoin pour favoriser la consolidation des os, aider au bon fonctionnement des muscles, du système nerveux et prévenir les risques des maladies cardio-vasculaires ou d'ostéoporoses.

Dans les industries, le Calcaire (calcite) et dolomie, interviennent dans la fabrication des craies et dans la construction pour peindre. La mise en place d'une usine de fabrication des craies serait une satisfaction d'apport des craies aux écoles dans la province du Tanganyika.

Les calcaires sont encore utilisés dans les industries chimiques, fabrication de la soude qui en absorbe d'énormes tonnages, production de gaz carbonique. Par cuisson à 1200°C, ces calcaires marneux donnent des ciments. A 1400°C (début de fusion), on obtient de ciments portland à prise lente. On réalise souvent artificiellement le mélange argile, calcaire destiné à cette fabrication et enfin, les roches calcaires représentent à peu près la moitié de réservoirs de pétrole, etc.

Sur le terrain, la présence de ces carbonates ne favorise à rien l'évolution locale du secteur car non exploité. La moindre de chose qui serait fait, serait l'exploitation artisanal de premier abord dans le but de chauler les maisons en général et d'autre par l'exploitation industrielle à près avoir fait l'étude minutieuse et la quantification du gite.

#### **5. APERCU SUR L'ELABORATION D'UNE TECHNIQUE ARTISANALE DE TRANSFORMATION DES ROCHES CARBONATES EN CHAUX.**

Il fallait donc mettre en place un flowsheet qui aidera à la production locale de la chaux. Pour y parvenir, plusieurs étapes doivent être suivies après que les roches à chaux soit tiré dans la carrière.

***Intérêt des roches carbonatées de l'Est de la cité de Manono, dans le secteur de kyala au Tanganyika/***

***RD Congo.***

- On creuse un puits à four que l'on équipe des roches résistances non friable
- On met une grille en métal qui est sous forme d'un grisly
- On étale de l'herbe sèche pour la première couche
- Puis on met les bois morts au-dessus de l'herbe.
- Ensuite, on prend les bois frais, on le met sur les bois morts
- On met les pierres à chaux extraites du gîte sur les bois frais.
- On met les bois frais sur les pierres à chaux.
- On allume le feu dans le four à une température pouvant aller à 600 - 800°C.
- Obtention de la poudre comme produits finis.
- On met la chaux dans des sacs pour l'acheminer dans le dépôt a près tamisage.
- En fin on a le produit fini, utilisable pour chauler

***Intérêt des roches carbonatées de l'Est de la cité de Manono, dans le secteur de kyala au Tanganyika/  
RD Congo.***

**CONCLUSION**

Le secteur de Kyofwe est localisé à l'Ouest de la cité de Manono, territoire de Manono dans la province Tanganyika en R.D. du Congo. La végétation y est étendue et caractéristique de savane arbustive et arborée.

Ce secteur est caractérisé par des formations précambriennes qui sont des metasédiments liés au Kibarien et celles phanérozoïque. Les roches carbonatées du secteur sont spécifiquement des dolomies, calcaire et marne, ainsi que de tuf d'aspect vacuolaire.

Ces roches carbonatées auraient différentes applications dont la fabrication des craies et dans la construction pour peindre, dans la fabrication de la soude, la fabrication du ciment et intervient comme réservoirs de gites pétrolier. De la technique applicable pour la production de chaux, la technique conçue reste la même comme spécifié dans ce travail.

**BIBLIOGRAPHIE**

- [1], Jean Omasombo et all. Tanganyika ; Espace fécondé par le lac et le rail, page 69.
- [2], (Cahen et al., 1967 et 1984).
- [3], (Cahen, 1954 ; Klerkx et al., 1984, Kampunzu et al., 1986, 1998 et Kokonyangi, 2005)
- [4], Bultot, F. 1955. Notice explicative de la carte des sols du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. De C. SYS.
- [5], F. Boulvain, 2019 : Eléments de Sédimentologie et de Pétrologie sédimentaire

# COHABITATION UNITES INDUSTRIELLES ET HABITATIONS : CAS DE LA ZONE INDUSTRIELLE DE YOPOUGON ET LE QUARTIER GESCO (ABIDJAN, COTE D'IVOIRE)



## COHABITATION OF INDUSTRIAL UNITS AND HOUSING: THE CASE OF THE YOPOUGON INDUSTRIAL ZONE AND THE GESCO DISTRICT (ABIDJAN, IVORY COAST)

| KOUASSI Patrick Juvet |

Université Félix Houphouët-Boigny | Institut de Géographie Tropicale (IGT) | Equipe de Recherche Espace-Système et Prospective (ERESP) | Abidjan | Côte d'Ivoire |

DOI: 10.5281/ZENODO.10009677 | Received September 12, 2023 | Accepted October 14, 2023 | Published October 16 2023 | ID Article: Kouassi-Ref6-4-17ajiras121023 |

### RESUME

**Introduction :** La Côte d'Ivoire, pays en voie de développement, a amorcé la voie de l'industrialisation après son indépendance. Cette industrialisation a engendré la reconfiguration de l'espace Abidjanais où se sont implantées la plus grande majorité des unités industrielles du pays. Ainsi, les communes de Koumassi, Marcory, Treichville et Port-Bouet, situées dans la partie méridionale de la capitale ont fait l'objet d'aménagement pour recevoir très tôt ces unités industrielles. La zone industrielle de Yopougon vient compléter la liste dans les années 1970. Abidjan devient alors le pôle important d'attractivité de toutes les migrations internes et externes. Cependant, suite à une urbanisation non maîtrisée, le quartier précaire Gesco dans commune de Yopougon se crée pendant la construction de l'autoroute du nord. Son étalement rejoint aujourd'hui les limites de la zone industrielle de cette commune. **Objectif :** Cette étude vise à analyser les facteurs qui ont favorisé la cohabitation entre la zone industrielle de Yopougon et les habitations du quartier Gesco. **Méthodologie :** Pour atteindre cet objectif, l'étude s'est appuyée une recherche documentaire et d'une enquête de terrain. **Résultats :** Les résultats de cette étude révèlent que l'urbanisation incontrôlée de la commune de Yopougon, assujetti à la création du quartier précaire Gestion, la pérennisation de ce quartier, et la nécessité de se rapprocher au lieu de travail, la zone industrielle, sont les principaux motifs de la cohabitation entre ces deux entités. Toutefois cette proximité d'installation expose les résidents du quartier Gesco à des pollutions.

**Mots-clés:** *Cohabitation, Gesco, quartier précaire, risques sanitaires, unités industrielles.*

### ABSTRACT

**Introduction:** Ivory Coast, a developing country, embarked on the road to industrialisation after its independence. This industrialisation led to the reconfiguration of the Abidjan area, where the vast majority of the country's industrial units are located. The communes of Koumassi, Marcory, Treichville and Port-Bouet, located in the southern part of the capital, were developed to accommodate these industrial units very early on. The Yopougon industrial estate was added to the list in the 1970s. Abidjan then became the major centre of attraction for all internal and external migration. However, as a result of uncontrolled urbanisation, the precarious Gesco neighbourhood in the commune of Yopougon was created during the construction of the northern motorway. Today, its sprawl has reached the limits of the commune's industrial zone. **Objective:** The aim of this study is to analyse the factors that have contributed to the cohabitation between the industrial zone of Yopougon and the dwellings of the Gesco neighbourhood. **Methodology :** To achieve this objective, the study was based on documentary research and a field survey. **Results:** The results of this study reveal that the uncontrolled urbanisation of the Yopougon commune, which led to the creation of the Gestion precarious neighbourhood, the perpetuation of this neighbourhood, and the need to be closer to the workplace, the industrial estate, are the main reasons for the cohabitation between these two entities. However, this close proximity exposes the residents of the Gesco neighbourhood to pollution.

**Key words:** *Cohabitation, Gesco, precarious neighbourhoods, health risks, industrial units.*

## 1. INTRODUCTION

La plupart des quartiers précaires ont émergé pendant la période de forte croissance économique des années 1960 à 1980, marquée par la création de zones industrielles. Ces quartiers demeurent des générateurs puissants de flux de personnes et de biens, influençant directement ou indirectement la démographie. La main-d'œuvre employée par les usines s'est installée autour de ces zones d'activité, formant des quartiers qui ont émergé comme des excroissances non planifiées de la ville, dépourvues d'infrastructures. En mars 2019, le ministre de la Construction, du Logement et de l'Urbanisme estimait à 132 le nombre de quartiers précaires répertoriés dans le District d'Abidjan, abritant environ 1 200 000 personnes. Ces quartiers précaires présentent un caractère déstructuré, en décalage avec les normes d'urbanisme. L'anarchie dans la construction des maisons, associée à l'explosion démographique, explique que de nombreuses habitations soient érigées dans des zones à risque.

Le quartier précaire Gesco illustre cet exemple d'occupation abusive. Située à la périphérie nord de la commune, la zone industrielle de Yopougon a été rapidement rejointe par les habitations. Cependant, ces unités industrielles sont



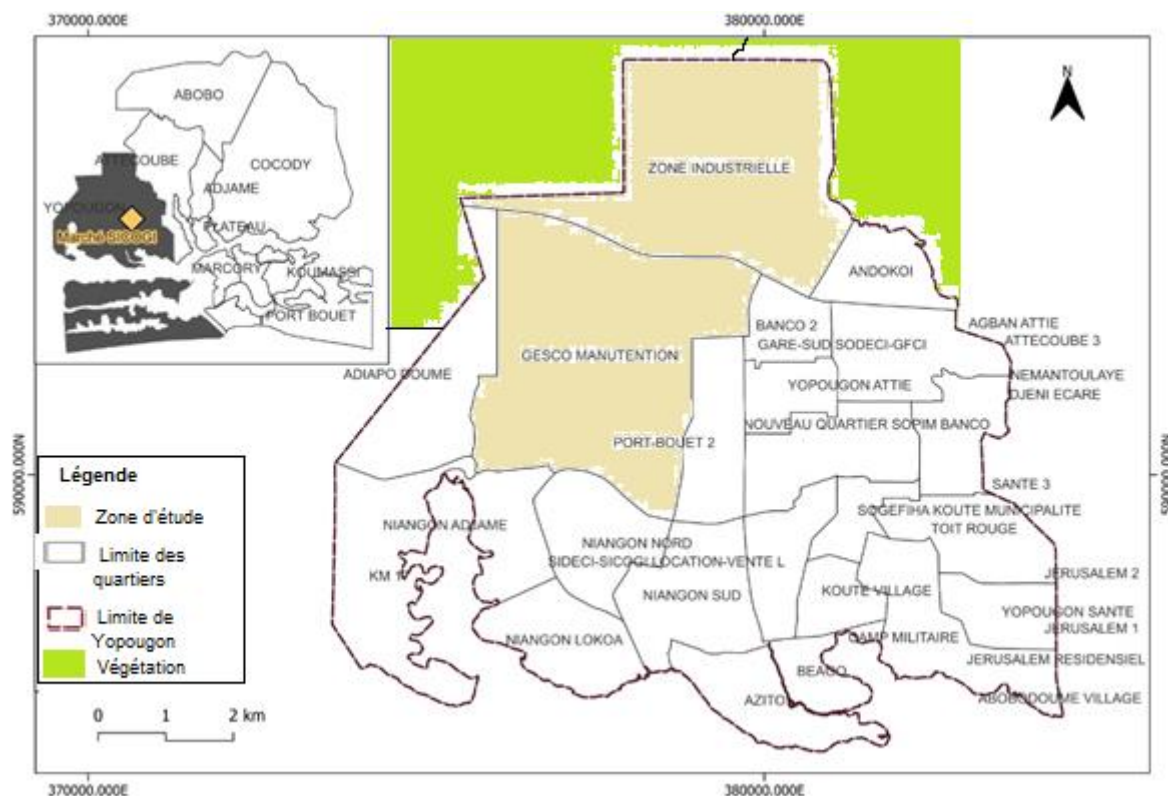
considérées comme des activités incompatibles avec l'habitat et ont été regroupées dans des espaces économiques dédiés à l'extérieur du centre-ville, exclusivement réservés aux fonctions productives et sans interaction avec la ville et ses quartiers (Marchadie, 2016, p.9) [1]. Le quartier Gesco s'est formé pendant la construction de l'autoroute du nord, reliant la capitale économique aux régions avoisinantes. Il a connu une expansion spatiale sans précédent en colonisant la zone de sécurité dédiée par l'Agence de Gestion et de Développement des Infrastructures Industrielles (AGEDI), définie conformément à la réglementation en vigueur relative aux plans d'urbanisme, estimée entre 30 et 50 mètres au minimum.

Initialement composé majoritairement de logements précaires, Gesco compte désormais une multitude d'habitats évolutifs comprenant des cours communes et des cours en bandes individualisées. Cette pérennisation s'est accentuée grâce à la restructuration du quartier et à la mutation de son habitat, incluant désormais des maisons de bas et moyens standings. Face à ces constats, une question centrale émerge : quels sont les facteurs ayant favorisé la cohabitation entre la zone industrielle de Yopougon et les habitations du quartier Gesco ? L'objectif de cette étude est d'analyser les facteurs déterminants de la proximité des habitations à la zone industrielle de Yopougon, ainsi que d'examiner les conséquences sanitaires de cette cohabitation.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Contexte géographique de l'étude

La zone industrielle de la commune de Yopougon est située à la périphérie nord de la commune. Elle est limitée de l'est à l'ouest respectivement par le parc national du Banco et de la réserve d'Anguedegou. Cette zone industrielle, la plus grande du pays, est bâtie sur une superficie de 174 hectares et compte plus de 400 unités industrielles. Dans sa partie sud, elle est adjacente au quartier Gesco, aussi notre zone d'étude. La carte 1 présente la localisation de la zone d'étude.



Fond Cartographique : CNTIG et OpenStreetMap

**Figure 1** : Localisation de la zone d'étude. (Conception et réalisation : Kouassi., 2022).

### 2.2. Méthode de collecte de données:

L'approche méthodologique utilisée pour atteindre l'objectif assigné à cette recherche a été axée sur la collecte des données, ainsi que le traitement des informations recueillies. Méthodologiquement, les analyses se fondent sur deux approches notamment la recherche documentaire et l'enquête de terrain. La recherche documentaire a été réalisée dans les bibliothèques de l'Université Félix Houphouët-Boigny, de l'Institut de Recherche et de Développement (IRD), dans les services techniques de la mairie de Yopougon, du centre de documentation de l'AGEDI et surtout sur internet. Cette recherche documentaire a permis la collecte de données concernant les motivations de création des quartiers précaires, la restructuration de ces quartiers et la cohabitation des unités industrielles aux habitations.

L'enquête de terrain a été constituée de l'entretien, de l'observation directe et du questionnaire. Des entretiens semi-directifs de personnes ressources, en particulier le responsable de l'AGEDI, le responsable des services techniques de la mairie de Yopougon constituent une part importante du travail de terrain effectué entre mars et avril 2023. Les entretiens ont porté sur l'urbanisation de la commune de Yopougon, sur le mode d'implantation de la zone industrie, sur les textes réglementaires de proximité des industries aux habitations et des problèmes générés par cette proximité. Les observations de terrain ont permis d'apprécier le niveau d'incrustation ou de proximité des habitations aux unités industrielles, d'observer les manifestations des pollutions générées par les industries et d'identifier les risques sanitaires des populations riveraines.

### 2.3. Enquête sur le terrain

Pour l'enquête des chefs de ménages, un questionnaire a été établi. La méthode de choix raisonné a permis de questionner 1% de l'ensemble des chefs de ménages du quartier Gesco. Ce sont près de 147 chefs de ménages sur les 14 729 ménages que compte le quartier [2], qui ont été interrogés. Les critères de choix du chef de ménage enquêté sont l'âge, l'ancienneté au moins 10 ans et le sexe. Le point d'ancrage du questionnement a tourné autour des motifs de leur installation dans ce quartier et surtout à proximité des unités industrielles, et sur les maladies couramment contractés les six derniers mois avant notre enquête.

### 2.4. Analyse des données

Un traitement manuel des informations a été nécessaire aussi bien pour les données qualitatives que quantitatives obtenues à l'issue de nos diverses investigations. C'est un traitement qui consiste à dépouiller les différents supports d'enquête de terrain de manière manuel et à l'aide des logiciels Word et Excel. Les données statistiques ont favorisé l'élaboration de tableaux statistiques et de cartes pour illustrer le travail. Les cartes ont été élaborées à partir des logiciels cartographiques Arc Gis 10.5 et Adobe Illustrator. Toutes les informations recueillies par le biais de ces outils d'investigation énumérées ont permis de dégager un plan articulé autour :

- Les facteurs favorables au rapprochement des habitations à la zone industrielle de Yopougon
- Les conséquences de la cohabitation des unités industrielles à l'habitation

## 3. RESULTATS

### 3.1. Les facteurs favorables au rapprochement des habitations à la zone industrielle de Yopougon

#### 3.1.1. L'urbanisation incontrôlée de la commune Yopougon

Yopougon, territoire appartenant au peuple Ebrié, une ethnie de la Côte d'Ivoire, a commencé véritable le développement de son territoire en 1970 et comptait 50 000 habitants [3]. L'ouverture de la voie express en 1979, l'implantation de la zone industrielle et son érection en commune de plein exercice en 1980 par la loi n° 80-1182 du 17 octobre 1980 ont été les moteurs impulsifs de son développement en modifiant l'allure de cette banlieue. Yopougon s'est principalement étendue avec d'importants investissements de l'Etat en matière d'habitats sociaux à la faveur de la mobilisation d'importantes disponibilités foncières. La commune est ainsi promise à un grand avenir avec une planification réussite. Au cours de cette période, la commune a bénéficié de l'intervention de structures parapubliques comme la SICOGI et la SOGEFIHA pour la production de logements économiques. Ainsi, à cette date la commune de Yopougon compte 61,02% d'habitat économique, 35,88% d'habitat évolutif et 3,10% d'habitat grand et moyen standing. Par ailleurs, l'implantation de la zone industrielle qui a simultanément une vocation au niveau régional pour la production et au niveau du périmètre urbain de la commune employabilité d'une main d'œuvre importante est située aux abords des voies d'intérêt régional c'est-à-dire l'autoroute et au débouché des voies express desservant la zone urbaine. Tous ces paramètres ont participé à la croissance démographique de sa population. Le tableau 1 présente le volume de population en fonction des années.

**Tableau 1** : La taille de la population de la commune de Yopougon de 1975 à 2021.

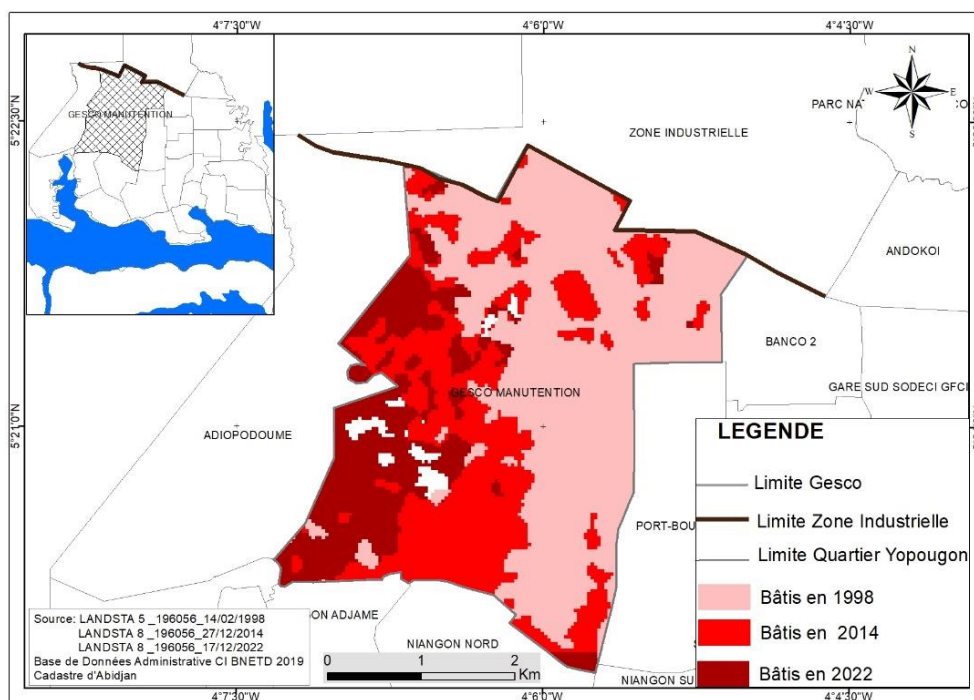
Année	1975	1998	2014	2021
Nombre d'habitants	78 700	688 235	1 071 543	1 571 065

Source : INS-RGPH, 1975, 1998, 2014 et 2021.

La population de la commune de Yopougon est passée de 78 700 habitants en 1975, date dans la période de fonctionnement de la zone industrielle, à 1 571 065 habitants en 2021. Le taux d'accroissement moyen annuel est estimé à 6,72, l'un des plus forts taux observés dans les autres communes d'Abidjan. Cependant, la présence de la zone industrielle et la non prise en compte d'une frange importante la population surtout ceux incapable de louer une habitation économique se rue vers les zones non aedificandi sous le regard impuissant des autorités municipales. Cette situation de course effrénée à l'accès à un logement conduit les populations les plus vulnérables à se tourner vers les quartiers les proches de leur lieu de travail dépourvu de toute commodité au loyer à prix bas. Le quartier précaire Gesco en est ainsi la zone de prédilection la mieux indiquée

### 3.1.2. Restructuration et pérennisation du quartier précaire Gesco

Le quartier Gesco, situé à la périphérie de Yopougon, constitue la porte d'entrée ou de sortie nord de la capitale économique de la Côte d'Ivoire, Abidjan. Il tire son nom du Groupement d'Entreprises Suisses de Construction (GESCO), qui s'y est implanté en 1975 pour la construction de la première autoroute du pays, l'autoroute du nord. Cette infrastructure routière majeure relie la capitale économique à la capitale politique, Yamoussoukro, ainsi qu'aux autres pays de la sous-région. Depuis lors, ce quartier a connu une dynamique urbaine significative. En partant d'une population de 46 354 habitants en 1998, elle est passée successivement à 172 706 en 2014 et à 272 171 habitants en 2021. Cette périurbanisation, alimentée par la présence de la zone industrielle, se traduit par une expansion accélérée et désorganisée de son espace. La figure 2 illustre la dynamique du quartier de Gesco.



**Figure 2 :** Dynamique spatiale du quartier Gesco de 1998 à 2022.

À la lecture de la carte, le quartier Gesco s'est développé très tôt le long du périmètre sud de la zone industrielle et à l'ouest du quartier proche des quartiers précaires Port-Bouet 2 et Banco 2. Avant 1998, la majorité des constructions étaient dominées par des habitations précaires et sommaires. La colonisation de ce quartier est liée à sa topographie. En effet, sa partie ouest, peu propice à l'implantation d'habitations en raison de son relief de plateau, contrairement à sa partie est présentant de nombreuses vallées disséquées, a été fortement sollicitée par des populations à la recherche de logements. Au total, 80,71% de la superficie de ce quartier est parsemée de dépressions continuellement rongées par l'érosion et déclarée comme une zone à risque ou non constructible (Yao., 2023, p.1043) [4]. Malgré l'incompatibilité de la topographie de ce quartier avec l'implantation d'habitations, Gesco connaît une périurbanisation incontrôlée sans précédent dans sa partie est constituée de vallées à pentes fortes. Dans le but de se rapprocher de la zone industrielle, les populations de ce quartier utilisent des stratégies pour s'adapter aux différents problèmes environnementaux auxquels elles sont confrontées quotidiennement.

Dans le cadre de l'amélioration des conditions de vie des populations, les représentants de ce quartier ont entrepris des actions en vue de sa normalisation. Cette normalisation a conduit à la restructuration du quartier, matérialisée par des tracés de voies et une opération de lotissement. De plus, ce quartier a bénéficié d'un programme initié par le gouvernement dans le cadre du Projet d'Aménagement des Quartiers précaires Restructurés d'Abidjan (PAQRA). Ce programme vise à la résorption des quartiers précaires dans la ville d'Abidjan. Cette restructuration a été un facteur déterminant de la dynamique spatiale. L'insertion de ce quartier dans le tissu communal a entraîné une augmentation du nombre de bâtiments jusqu'à coloniser les surfaces de sécurité admises entre les unités industrielles et les habitations. Ce quartier compte désormais 13 sous-quartiers bien distincts : Gesco-Fourrière, Belle-ville, Camp TP, Déapleu, Cité Eden, Manutention africaine, quartier gouro, cité Nawa, CMEAU, Petit bouaké, ciel, pays-bas et hévéa. On observe une rénovation urbaine marquée par une mutation de l'habitat. Actuellement, ce quartier compte 15,57% de maisons précaires, 19,59% de maisons en cour commune, 40,70% d'habitations en bandes individualisées, 21,60% de maisons de standing moyen et 2,54% de résidences construites en villa. Cette évolution du mode d'habitation par les populations, caractérisée par la forte présence de maisons en bandes individualisées où les ménages sont plus autonomes, la transformation des cours communes et la présence de villas, traduit la

pérennisation du quartier dans les environs de la zone industrielle.

### 3.1.3. Nécessité de rapprochement au lieu de travail, la zone industrielle

Les travailleurs abidjanais sont contraints chaque jour ouvré de la semaine de parcourir de longues distances, que ce soit en engins motorisés ou à pied, pour se rendre sur leur lieu de travail et vice versa. Ces déplacements pendulaires ne font aucune exception, surtout pour les habitants de la commune de Yopougon, qui, selon le plan directeur de la ville d'Abidjan, avait été initialement désignée comme un quartier dortoir à habitats économiques. Les habitants de cette commune parcourent de longues distances pour rejoindre la partie méridionale de la ville d'Abidjan, où se trouvaient les premières unités industrielles, notamment dans les communes de Marcory, Treichville et Port-Bouet.

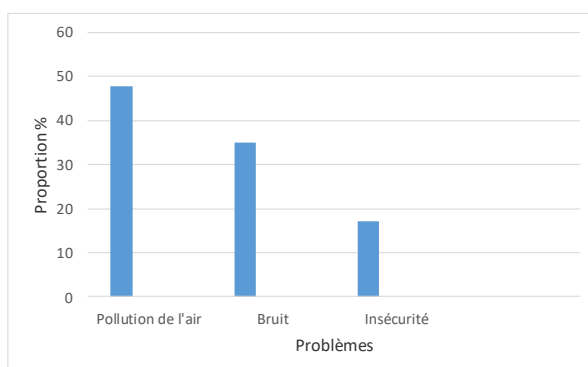
Avec l'implantation de la zone industrielle à Yopougon, la fonction de commune résidentielle s'ajoute à la fonction industrielle. De nombreux habitants résidents travaillent désormais dans cette zone industrielle, motivés également par le choix d'habiter à proximité de leur lieu de travail. En effet, le coût élevé des transports à Abidjan est un facteur déterminant pour les ouvriers, les travailleurs de professions intermédiaires, voire même certains cadres moyens, qui préfèrent résider à proximité de la zone industrielle, notamment à Gesco. Interrogé sur ce sujet, un enquêté du nom de G. L. indique que les employés de la zone industrielle, habitant à moins de trois kilomètres de la zone, dépensent au strict minimum 800 F.CFA par jour, soit 24 000 F.CFA par mois. Or, le Salaire Minimum Interprofessionnel Garanti (SMIG) en Côte d'Ivoire est de 75 000 F.CFA. En retranchant ce coût du transport du revenu mensuel, la somme restante devient insignifiante pour vivre à Abidjan, où les prix des denrées alimentaires sont élevés. Ainsi, pour ces employés, la meilleure option est d'habiter à proximité de la zone industrielle, et pour un tel revenu, le quartier de résidence ne sera pas un quartier de type précaire comme Gesco. Selon nos enquêtes, 42% des chefs de ménage travaillent dans la zone industrielle. Le motif d'habiter près de la zone industrielle et d'économiser sur les coûts de transport mensuels est la raison de cette cohabitation.

De plus, dans ce quartier, les logements sont à un loyer abordable par rapport aux quartiers réguliers. En effet, les chambres à coucher se négocient entre 10 000 et 20 000 F.CFA, les studios ont un coût de location entre 15 000 et 25 000 F.CFA, les deux pièces, communément appelées chambre-salon, sont louées entre 20 000 F.CFA et 35 000 F.CFA, et les trois pièces ou deux chambres-salons sont entre 30 000 F.CFA et 45 000 F.CFA. Contrairement à Mamie Adjoua et à Ananeraie, les quartiers réguliers, situés non loin de la zone industrielle, où seulement les loyers des studios sont entre 40 000 F.CFA et 60 000 F.CFA, largement supérieurs aux différents loyers dans le quartier Gesco. Ainsi, le niveau de revenu relativement faible de ces ouvriers et employés, ne pouvant excéder les 125 000 F.CFA, ne leur permet pas de vivre dans ces quartiers réguliers.

## 3.2. Les conséquences de la cohabitation des unités industrielles à l'habitation

### 3.2.1. Exposition aux pollutions des unités industrielles

L'implantation de la zone industrielle est basée sur sa localisation, sa mise en œuvre, sur le cadre juridique national, international et institutionnel. Cependant son rapprochement des habitations n'est pas sans conséquence sur les riverains. L'enquête de terrain effectuée permet de faire ressortir trois sortes de plaintes au niveau des chefs de ménages. La figure 3 présente les proportions de ces problèmes relevés au niveau de la population.



Source : Enquêtes de terrain, 2023

**Figure 3** : Les problèmes de cohabitation avec les unités industrielles relevés par les ménages.

L'analyse de la figure révèle que 47,7% des chefs de ménages de Gesco se plaignent des polluants générés par les usines dans l'air. Ils disent l'apprécier par la détérioration de la qualité de l'air qu'ils ressentent. Ce sont des très fortes odeurs provenant des usines qui polluent l'air du quartier. Ces odeurs proviennent des fumées qui s'échappent à longueur de journée des cheminées se répandent constamment dans les environs du quartier. Aussi, les odeurs sont issues de la transformation des produits chimiques et/ou organiques utilisés par les usines. La photo 1 illustre l'émanation des fumées provenant des usines.



**Photo 1** : De fortes fumées émanant d'une usine de la zone industrielle. (Cliché : Yapi S. L. J., 2023)

Outre les fortes odeurs générées par les usines dont se plaignent les ménages, 35,1% de ces derniers dénoncent les bruits provoqués par les activités des usines comme une gêne préoccupante. Les bruits assourdissants des machines en plein exercice des ouvriers, les retrouvent une fois arrivés au domicile. Ce sont habitants dont les résidences sont situées très proches des unités industrielles qui s'en plaignent le plus. A cela s'ajoutent les klaxons incessants des gros camions et le ronflement de leur moteur.

Aussi, les habitants de Gesco décrivent l'insécurité comme une conséquence de cohabitation avec la zone industrielle ; et ce 17,2% des chefs qui le font savoir. En effet, le Gesco même restructuré présente toujours l'allure d'un quartier précaire. Comme tout quartier de la ville d'Abidjan, ce sont endroit infecté de délinquants et de voleurs. Ces travailleurs de la zone industrielle qui doivent se lever tôt le matin et parcourir la route de leur lieu de travail à pieds sont très souvent surpris par ces larrons. Ils sont alors dépouillés de tous leurs biens et parfois subissent des graves blessures corporelles. Cette insécurité s'apparente aussi aux risques d'accidents qui peuvent survenir à cause l'état de dégradation avancée des ruelles du quartier. Ces gros camions dans leur manœuvre pour éviter les nombreux nids-poules foncent sur les commerçantes installées le long de la chaussée.

### 3.2.2. Une vulnérabilité permanente des co-habitants à la zone industrielle

La zone de Servitude d'Utilité Publique (SUP) existentielle entre les habitations et la zone industrielle est occupée par le bâti. La présence des unités industrielles ont favorisé l'émergence de quartier précaire, résidence des prolétaires. Ces habitants du quartier Gesco ont un revenu très moyen pour vivre dans les quartiers réguliers. 63% des chefs de ménages enquêtés ont revenu mensuel d'au plus 100 000 F.CFA. Ce revenu reste très insuffisant pour satisfaire aux charges fixes familiales (loyer, électricité, eau, nourriture, santé, scolarité des enfants, etc.). Comme la plupart des quartiers précaires de la ville d'Abidjan, Gesco présente un cadre de vie malsain et dégradé ; auxquels s'ajoutent les polluants environnementaux produits par les industries. En effet selon l'AGEDI, la zone industrielle de Yopougon compte plus de 400 entreprises d'activités variées sur une superficie de 469 hectares. On dénombre les industries lourdes (industrie mécanique, métallurgique et électriques), les industries chimiques (pétrochimie, phytosanitaires, cosmétiques etc.), les cimenteries etc. qui sont jugées très polluantes. La zone industrielle regroupe aussi les entreprises dont l'intensité de pollution est jugée faible ; ce sont les industries de montage automobile, les industries textiles, les services logistiques et entrepôts etc. et les industries agroalimentaires. Cette forte présence des polluants industriels dans l'environnement immédiat des résidents du quartier accroît la vulnérabilité des populations. A la question de savoir si les résidents ont conscience ou connaissance des effets des polluants sur leur état de santé ; 48% des chefs de ménages enquêtés n'ont pas connaissance de ces effets sur leur santé à moyen ou à long terme. Pour ceux qui le savent, ils justifient leur présence par le manque de moyen financier de se louer une maison dans un quartier régulier et se disent faire avec la situation. Aucune autorité municipale ne leur sensibilise sur les effets d'une telle cohabitation avec la zone industrielle et des dangers qu'ils encourent de cette proximité. Aussi selon ces ménages aucune disposition n'est prise pour palier aux risques inhérents à ces installations. S'il s'avère qu'un membre d'une famille tombe malade trois types d'itinéraire thérapeutique s'offrent au ménage ; l'achat de médicament de rue vendu au sein du quartier, l'utilisation ou l'achat de plantes traditionnelles et la médecine moderne. L'enquête de terrain a révélé que 27% des chefs de ménages achètent les médicaments dans la rue pour se soulager de leur mal, 39% des chefs de ménages utilisent les plantes traditionnelles pour se soigner et 34% se rendent à l'hôpital quand ils sont malades.

## 4. DISCUSSION

L'étude a révélé l'existence d'une connexion entre les zones industrielles et les habitations à Gesco. Cependant, il n'y a aucune zone de servitude entre les zones industrielles et les habitations. La dynamique urbaine a entraîné une cohabitation entre les habitats et les industries, sous le regard impuissant des acteurs dépourvus de textes ou de pouvoir coercitif pour rétablir l'ordre actuel [5]. Cette étude a également identifié les facteurs de connexion tels que

l'urbanisation incontrôlée de la commune de Yopougon, la pérennisation du quartier précaire de Gesco par sa restructuration, et la nécessité pour les ouvriers ou employés de la zone industrielle de se rapprocher de leur lieu de travail. Dongo et al., (2013, p.405) [6] précisent que les activités industrielles ont favorisé la formation d'habitats précaires autour des zones industrielles d'Abidjan, en particulier celle de Yopougon, entraînant des problèmes de santé tels que le paludisme, la fièvre typhoïde, les affections respiratoires et des conditions de vie difficiles pour la population.

Contrairement à l'opinion de Charara (2013, p.14) [7], qui estime que les entreprises se localisent là où elles ont la meilleure proximité avec la demande et une dotation initiale en matières premières et en main-d'œuvre, Riadh (2014, p.43) [8] partage la même perspective. Selon lui, la création d'une zone industrielle influence le développement économique et spatial de l'agglomération, facilitant l'aménagement spatial, orientant le développement urbain et contribuant au réaménagement de l'agglomération.

Cependant, la cohabitation entre les habitations et la zone industrielle n'est pas sans conséquences pour les populations riveraines. D'après Drire (2006, p.67) [9], dans son article sur l'environnement industriel et l'impact sur la santé, les zones industrielles ont des impacts négatifs sur la santé, influençant la qualité de vie des résidents environnants. Les tours aéroréfrigérantes sont des foyers favorables à la prolifération de bactéries dans l'eau douce entre 25°C et 45°C, responsables de la détérioration de la santé de la population. He (2005, p.22) [10] soutient dans sa thèse que l'implantation de zones industrielles en Chine a contribué à la pollution de l'air, entraînant des maladies respiratoires liées à la pollution atmosphérique. De même, Cardenas et Vega (2016, p.242) [11] affirment qu'il existe d'importantes controverses autour des conséquences de la fracturation hydraulique et de l'industrie du gaz de schiste sur la santé humaine et l'environnement. Absous (2017, p.3) [12] souligne que l'installation de zones industrielles a des impacts négatifs tels que la destruction de la faune et de la flore, la pollution et l'érosion des sols, la pollution de l'air, la dégradation du paysage, et la perte de terres et d'exploitations agricoles. Ainsi, la vulnérabilité des populations riveraines augmente en raison de la cohabitation avec les unités industrielles.

## 5. CONCLUSION

Depuis plus de quatre décennies, la commune de Yopougon connaît un processus de mutation de son paysage urbain, marqué par une croissance démographique et un étalement spatial. Elle évolue progressivement de commune d'habitat ou résidentielle à l'ajout d'une fonction industrielle. L'insertion d'unités industrielles modifie considérablement les aménagements prévus. La politique urbaine, ne tenant pas compte de certaines classes sociales, génère la création de quartiers précaires privilégiant les sites non constructibles. Cette urbanisation non maîtrisée et le souci de se rapprocher du lieu de travail poussent les populations du quartier précaire de Gesco à cohabiter avec la zone industrielle de Yopougon. Les usines dans cet espace produisent des polluants ayant probablement des effets nocifs sur l'environnement et la santé des populations environnantes. La méconnaissance de ces effets rend les habitants de Gesco plus vulnérables, accentuée par l'insuffisance du revenu mensuel des chefs de ménage.

## 6. REFERENCES

1. Marchadier O. From the Planning of Economic Spaces Dedicated to Urban Renewal of Activity Zones: Perspectives for Economic Land Management [Internet]. Université JOSEPH Fourier & Institut de Géographie Alpine; 2016 [cited 2023 Oct 05]. 105 p.
2. Institut National de la Statistique de Côte d'Ivoire. Résultats globaux du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH), 2021.
3. Institut National de la Statistique de Côte d'Ivoire. Résultats globaux du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH), 1975.
4. Yao KB, Yao KB, Gogbe Téré. Urbanisation virtuelle et incontrôlée dans un contexte physique fragile à Abidjan-Gesco. *Revue Internationale du Chercheur*. 2023;4(3):1035-1058. Available from: [www.revuechercheur.com/index.php/home](http://www.revuechercheur.com/index.php/home)
5. Yao-Assahi AIN, Anoh KP. Industries et urbanisation à Abidjan sud (Abidjan-Côte d'Ivoire). *RegardSud*. 2019;(2):43-57. Available from: [www.regardsuds.org](http://www.regardsuds.org)
6. Dongo K, Niamké BF, Adjé AF, Britton Bi GH, Nama LA, Anoh KP, et al. Impacts des effluents liquides industriels sur l'environnement urbain d'Abidjan - Côte d'Ivoire. *Int J Biol Chem Sci*. 2013;7(1):404-420. Available from: [www.ajol.info/index.php/ijbcs/article](http://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article)
7. Charara N. La métropole lilloise et la stratégie de localisation des industries dans les arrondissements de Tournai et Mouscron [Master's Thesis]. 2013. 128 p.
8. Riadh S. Localisation des industries et enjeux urbains dans l'agglomération du Grand Tunis [PhD thesis]. Université Paul-Valéry-Montpellier III; 2014. 520 p.
9. Drire Paca. Environnement industriel et impacts sur la santé. Paris; 2006. 69 p.
10. HE Jie. Impacts environnementaux de l'industrialisation et du commerce international en Chine: Cas de l'émission industrielle de SO<sub>2</sub> [Doctoral dissertation]. Université d'Auvergne Clermont 1; 2005. 328 p.

11. Cardenas Y, Vega N. La criminalité environnementale et l'industrie du gaz de schiste au Québec. *Criminologie*. 2016;pp. 241–261.
12. Absous PH. Impacts environnementaux du projet d'aménagement de la nouvelle zone industrielle de PK 24 (Akoupé-zeudji, Anyama) [Master's Thesis]. Université Félix Houphouët Boigny-Abidjan, Institut de Géographie Tropicale; 2017. 111 p.



**How to cite this article: KOUASSI Patrick Juvet.** COHABITATION UNITES INDUSTRIELLES ET HABITATIONS : CAS DE LA ZONE INDUSTRIELLE DE YOPOUGON ET LE QUARTIER GESCO (ABIDJAN, COTE D'IVOIRE). *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023;17(4): 259-266. [doi.org/10.5281/zenodo.10009677](https://doi.org/10.5281/zenodo.10009677)

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

# A COMPUTATIONAL STUDY ON THE MAGNETIC PROPERTIES OF VANADIUM LAYERS ON NIOBIUM SUBSTRATES: EFFECTS OF SURFACE ORIENTATION, RELAXATION, AND ELECTRONIC STRUCTURE



| Dimbimalala, Randrianasoloharisoa <sup>1</sup> | Andry Nirina, Randrianarisoa <sup>1</sup> | and | Fils, Lahatra Razafindramisa <sup>1</sup> |

<sup>1</sup>. Laboratoire de Physique de la Matière et du Rayonnement | Université d'Antananarivo | Département de Physique | Antananarivo | Madagascar |

DOI: 10.5281/ZENODO.10029598 | Received September 02, 2023 | Accepted September 17, 2023 | Published October 21, 2023 | ID Article | Dimbimalala-Ref3-4-17ajiras171023 |

## ABSTRACT

**Background:** The investigation of magnetism in transition metals is a pivotal aspect of studying artificial systems, particularly ultrathin metallic films. The magnetic properties of transition metals, especially vanadium, either independently or in conjunction with other transition metals, have consistently captivated researchers in this domain. **Objectives:** This study aims to explore the magnetic characteristics of vanadium on a niobium substrate using Density Functional Theory (DFT) with the DACAPO code. **Methods:** We examined systems comprising a single layer of vanadium or niobium, as well as vanadium on niobium. Our investigation encompassed the influence of layer relaxation, surface orientation, and the coupling of V/Nb. The analysis and interpretation of results were grounded in the study of atom positions and density of states for each atom. **Results:** The relaxation of layers composed solely of vanadium or niobium generally resulted in a reduction of the magnetic moments of atoms within those layers. Similarly, altering the surface orientation from (100) to (110) led to a decrease in the magnetic moment, reaching 0. This reduction is attributed to the increased proximity of atoms, facilitating the recovery of d orbitals for these atoms. In the V/Nb system, for the (100) surface orientation, relaxation also led to a moment reduction. Conversely, for the (110) orientation, each layer became antiferromagnetic after relaxation. The emergence of the antiferromagnetic moment is primarily attributed to the Body-Centered Cubic (BCC) structure of vanadium and niobium. **Conclusions:** Our findings indicate that, for the relaxed system, the magnetic moment of vanadium on the V/Nb surface is higher than that of vanadium in an isolated V system. Therefore, the practical utility of vanadium in conjunction with niobium surpasses that of vanadium alone.

**Keywords:** vanadium, niobium, ab-initio calculation, DFT, relaxation, magnetic moment.

## 1. INTRODUCTION

Over the past two centuries, condensed matter physics has played a pivotal role in metallurgy, chemistry, and the synthesis of artificial materials. The emergence of this modern scientific discipline has empowered researchers to manipulate and control the magnetic properties of materials at their discretion. Comprehending the magnetic characteristics of materials based on their electronic structures represents a significant challenge in both theoretical and experimental fundamental research. The evolution of microcomputers, driving exploration at the nanoscale through innovations like scanning electron microscopes, has propelled physicists into the realm of nanoscience. Concurrently, the continuous refinement of precise ab initio calculations, coupled with advancements in simulation algorithms such as density functional theory (DFT), has enabled predictions regarding the behavior of atoms in bulk materials.

The magnetism of transition metals stands as a central and compelling theme in the examination of artificial metallic systems, including ultrathin films, atomic clusters (aggregates of tightly bound atoms or molecules with distinct properties), and magnetic nanoparticles. Due to their unique characteristics, the investigation into the magnetism of transition metals, exemplified by vanadium, through numerical calculation methods continues to captivate researchers in this field. Notably, the apparent contradiction between experimental results and theoretical studies on the magnetic moment of V, in conjunction with other transition metals, serves as a driving force for our current work.

Furthermore, the underutilization of the V/Nb coupling in ab initio simulations for a monolayer of vanadium has spurred our interest. We could only identify the studies of Kim and Lee (2001) [1] and Khalifeh (1997) [2] delving into this system. Our calculations will employ DFT implemented in the DACAPO code (Danish Ab-initio Pseudo Potential Code), utilizing the pseudo-potential method with the correlation exchange function provided through the generalized gradient approximation (GGA). This choice ensures a more accurate estimation of magnetic properties compared to the local spin density approximation (LSDA). In the present study, we will delve into the theoretical foundations of ab-initio calculations for resolving many-body problems.

## 2. COMPUTATIONAL METHOD

All simulations presented in this study were conducted using the Dacapo package [3,4], a computational framework grounded in Density Functional Theory (DFT) employing a plane wave basis set. The ionic cores are characterized by ultrasoft pseudopotentials developed by Vanderbilt [5]. The self-consistent solution of the Kohn-Sham one-electron equations was pursued, employing the Generalized Gradient Approximation parameterized by Perdew-Wang (GGA-PW91) for the exchange-correlation part [6,7]. In our calculations, the plane wave basis set was constrained by a 350



eV energy cutoff. Brillouin zone sampling utilized a (4x4x1) k-point Monkhorst-Pack grid [8]. To aid convergence, Fermi broadening corresponding to  $kBT=0.1$  eV was applied. Total energies were extrapolated to  $T=0$  K.

Six systems were considered for simulation: a 7-layer slab of V(100), a 7-layer slab of Nb(100), a configuration with a 1-layer slab of V deposited on a 6-layer slab of Nb(100), a 7-layer slab of V(110), a 7-layer slab of Nb(110), and a configuration with a 1-layer slab of V deposited on a 6-layer slab of Nb(110). The slab was periodically reproduced in the perpendicular direction, with images separated by a vacuum region 10 Å thick. Only the V (respectively Nb) surface plane was allowed to relax freely, while the other layers were held in the bulk configuration. The simulations commenced with the determination of the bulk lattice constant for vanadium and niobium. Subsequently, individual analysis was carried out for systems composed of Nb(100) (respectively Nb(110)) and V(100) (respectively V(110)), permitting relaxation of each surface atom simultaneously. This was followed by calculations for the hybrid systems V/Nb, considering both orientations.

The variation of inter-layer distance in percent value was calculated from the following formula:

$$\Delta d_{ij}(\text{in } \%) = \frac{d_{ij}(\text{relaxed}) - d_{ij}(\text{cc})}{d_{ij}(\text{cc})} \times 100 \quad (1)$$

With:

$d_{ij}(\text{cc})$  the distance of two adjacent layers in centered cubic system,

$d_{ij}(\text{relaxed})$  the distance of two adjacent layers in relaxed system,

$i$  and  $j$  are the indexes of the layers with  $j=i+1$ ,

We took  $i=1$  the index of the top layer, the surface,

$j=2$  the index of the layer just below or subsurface.

### 3. RESULTS

#### 3.1 Structure Analysis

The equilibrium calculated lattice parameter of niobium bulk of 3.31 Å is in good agreement with the experimental value which is 3.3 Å [9]. For vanadium bulk, we found a lattice parameter of 3.0 Å. This value is also in good agreement with the experimental value of 3.03 Å from [9].

According to Table 1, the relaxation of the Nb(100) provided a contraction of 10.30% over the distance between the surface layer and the one just below. This result is in good agreement with that obtained by Ramanathan et al. [10] of 10.11% performed with the LSDA method. Methfessel et al. [11] also confirmed this result with a contraction of 9.3% using the FP-LMTO (Full Potential Linear-Muffin Tin Orbital) method. Shein et al. [12] found a contraction of 13.1% with VASP-PAW (Plane Augmented Waves) for this same configuration. The experimental study by Fang et al. [13] by electronic photo diffraction of the Nb (001), using  $K_\alpha$  radiation as excitation source provided a contraction of  $13 \pm 5\%$  between the top layer and the subsurface.

By changing the orientation of the niobium surface plane into (110), the contraction became 4.32%. The latter is the result of the particular arrangement of the atoms for forming the (110) plane of niobium. Each atom is no longer on the same plane but only half of the atoms that make up the surface.

**Table 1:** Variation in % of the interatomic distances for the different niobium slabs. Minus sign indicates contraction.

System	$\Delta_{12}(\%)$
Nb (100)	-10.30
Nb (100) [10]	-10.11
Nb (100) [11]	-9.30
Nb (100) [12]	-13.10
Nb experiment [13]	-13±5

Table 2 shows the geometric optimization of the slab of V(100). The surface skilled a strong contraction of 13.18%. According to Ramanathan et al [14] the calculation with a GGA pseudo potential for the top V-V provided a contraction of 9.8% from its initial position. The FLAPW result of Bihlmayer et al. [15] is close to ours with 11.10% contraction. The LEED experience of Jensen et al. [16] gives a contraction of 7.0%.

**Table 2.** Variation in % of the interatomic distances for the different vanadium slabs. Minus sign indicates contraction.

System	$\Delta_{12}(\%)$
V (100)	-13.18
V (100) [14]	-9.80
V (100) [15]	-11.10
V (100) [16]	-7.00
V experiment [17]	-6.7±1.5

According to table 3 below we obtained a contraction of 5.85% between the top layer and the subsurface for the V/Nb(100) system. This value is in good agreement with that found by Ramanathan et al. [14] of 4.80%. For the V/Nb(110) system, a contraction of 5.42% has been calculated for the distance between the vanadium and the first layer of niobium with respect to its initial position.

**Table 3.** Variation in % of the interatomic distances for the different V/Nb slabs. Minus sign indicates contraction.

System	$\Delta_{12}(\%)$
V/Nb (100)	-5.85
V/Nb (100) [14]	-4.80
V/Nb (110)	-5.42

## 3.2 Magnetic Analysis

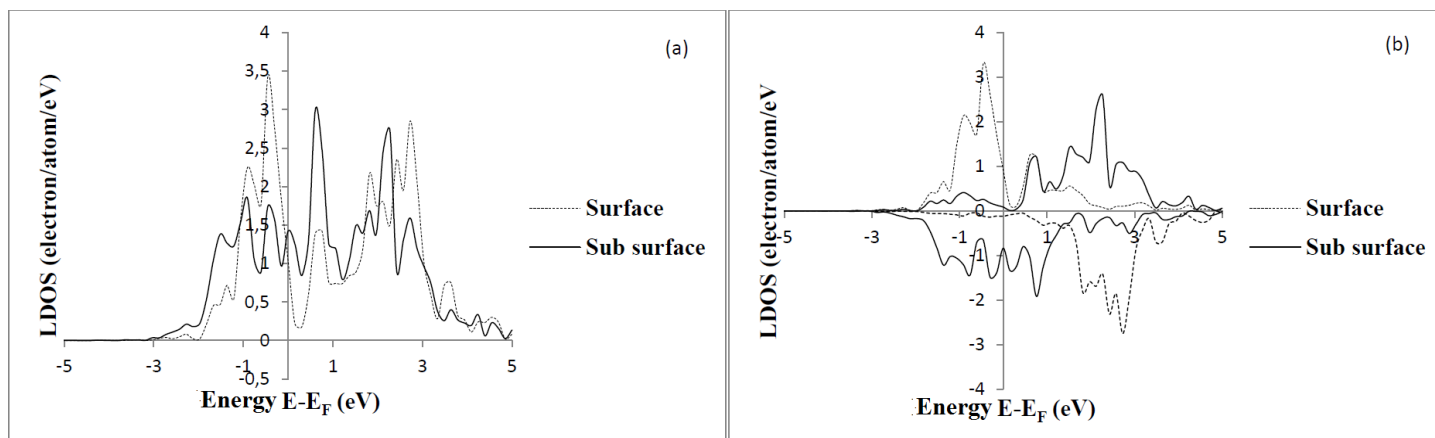
### 3.2.1. The Vanadium system

**3.2.1.1. The Position Effect:** We have obtained the magnetic moments of atoms at the surface and at the subsurface in a non-relaxed vanadium slab (100) as shown in Table 4. The surface of V alone presents a very significant ferromagnetic moment of  $3.24 \mu_B$  per atom. We have a result in good agreement compared with the calculation made by Ramanathan et al. [18] of  $3.40 \mu_B$  for the vanadium on the surface (100). The sub surface of V has a magnetic moment induced of  $-2.22 \mu_B$  per atom. Its absolute value has decreased relative to the outer surface.

**Table 4:** Magnetic Moment per Atom in Surface of Non-Relaxed V(100).

Position	Moment( $\mu_B$ )
Surface	3.24
Sub-surface	-2.22

In Figure 1(a), the local densities of states (LDOS) for a vanadium atom are depicted, comparing its surface (dotted line) and subsurface (solid line) configurations. Transitioning from the surface to the subsurface results in a reduction of peaks near the Fermi level, leading to a slightly more dispersed density of states. This broadening primarily arises from the contribution of spin-down states, as illustrated in Figure 1(b). Figure 1(b) illustrates that for the surface atom, spin-up states dominate, resulting in a positive momentum. Conversely, for the subsurface atom, spin-down states prevail, although the disparity between spin-up and spin-down states is less pronounced. Consequently, the subsurface atom exhibits a negative momentum, with an intensity lower than that of the surface atom.



**Figure 1:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium in surface (dotted line) and subsurface (solid line). (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

The magnetic moment holds significance at the surface, diminishing and altering its sign upon transitioning to the subsurface. This change is attributed to the altered atomic environment in the subsurface, where the atom becomes surrounded by neighboring atoms. In this subsurface context, the redistribution of spin-up and spin-down states occurs through the overlapping of d orbitals with adjacent atoms, allowing the atom to rebalance its density distribution.

### 3.2.1.2. The Relaxation Effect

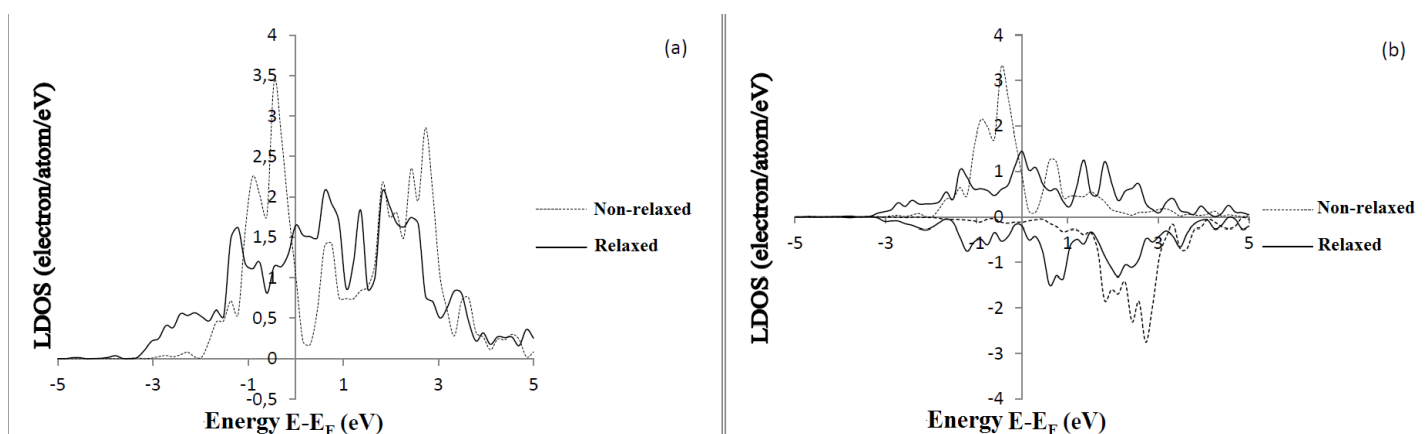
Upon examination of Table 5, the impact of relaxation on the V(100) system becomes evident. Our calculations reveal a magnetic moment of  $3.24 \mu_B$  for the non-relaxed surface of V, contrasting with  $0.91 \mu_B$  for the relaxed surface. A similar reduction is observed in the subsurface of vanadium. Specifically, a magnetic moment of  $-2.22 \mu_B$  is evident for the non-relaxed subsurface, while only  $-0.21 \mu_B$  is observed for the relaxed subsurface.

**Table 5:** Effect of Relaxation in the Magnetic Moment (in  $\mu_B$ ) per Atom of the V(100) System

Position	Non-relaxed	Relaxed
Surface	3.24	0.91
Sub-surface	-2.22	-0.21

The reduction in momentum is corroborated by Figure 2(b), illustrating a decline in spin-up density peaks and a concurrent rise in spin-down density, resulting in a diminished difference between the densities of spin up and down states, and consequently, a decrease in magnetic moment. Figure 2(a) reveals a broadening of 1eV extending toward the negative energies of the d-band.

The primary impact of relaxation is the attenuation of the magnetic moment. Following relaxation, atomic distances contract, enabling electrons to redistribute their distribution through the overlap of d-orbitals. This mechanism facilitates the rebalancing of electron distribution among the atoms, contributing to the observed decrease in magnetic moment.



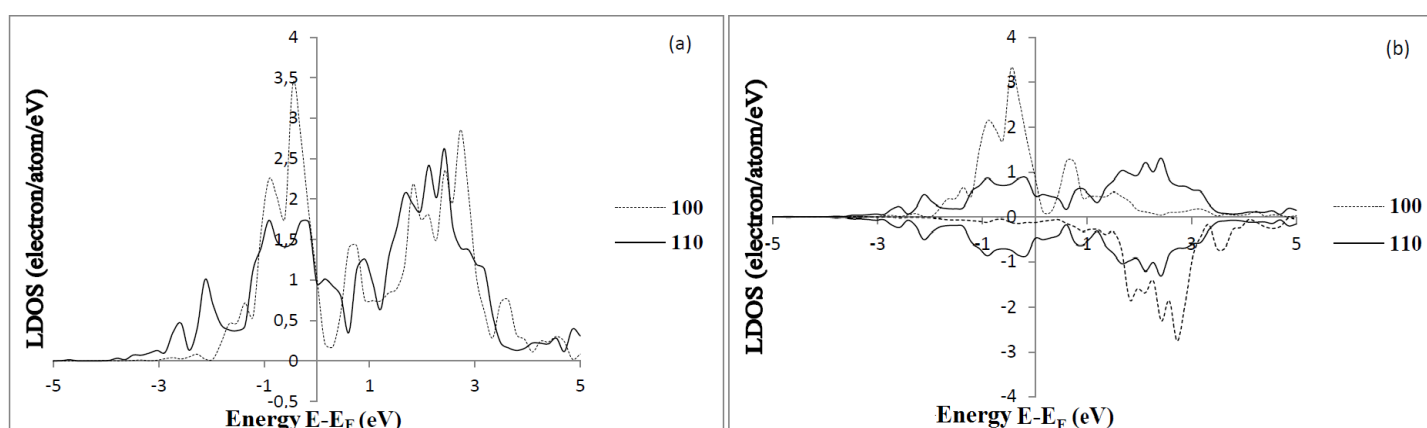
**Figure 2:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium in non-relaxed surface (dotted line) and relaxed surface (solid line). (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

### 3.2.1.3. The Orientation Effect

Table 6 indicates that altering the surface orientation from (100) to (110) results in a reduction or complete cancellation of the magnetic moment. Figure 3 illustrates an expansion of the d-band and a realignment in the distribution of spin-up and spin-down densities when transitioning from the (100) to (110) orientation.

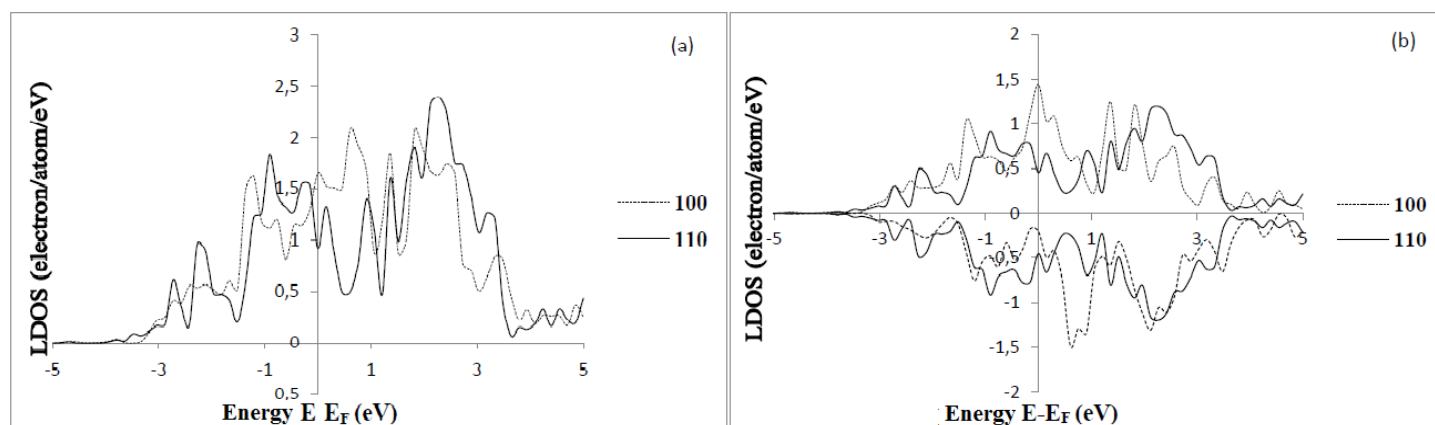
**Table 6.** Effect of orientation in the Magnetic Moment (in  $\mu_B$ ) per Atom of the V(100) System

Orientation	Non-relaxed	Relaxed
100	3.24	0.91
110	0	0



**Figure 3:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium in 100 surface (dotted line) and 110 surface (solid line) of non-relaxed surface. (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

On the other hand, in figure 4 where the surfaces are relaxed, the densities of states have almost the same shape for the two orientations. Orientation effects are screened by relaxation effects.



**Figure 4:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium in 100 surface (dotted line) and 110 surface (solid line) of relaxed surface. (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

Altering the orientation from (100) to (110) typically results in a decrease in the magnetic moment. Specifically, in the (110) orientation, the distance between closely neighboring atoms within the same plane is smaller compared to that in the (100) orientation. This distance measures 2.60 Å for V(110) as opposed to 3 Å for V(100). The reduced interatomic distance in V(110) allows for a more facile overlap of d-orbitals among surface atoms, facilitating the rebalancing of electron spin distributions and consequently leading to a reduction in magnetic moment

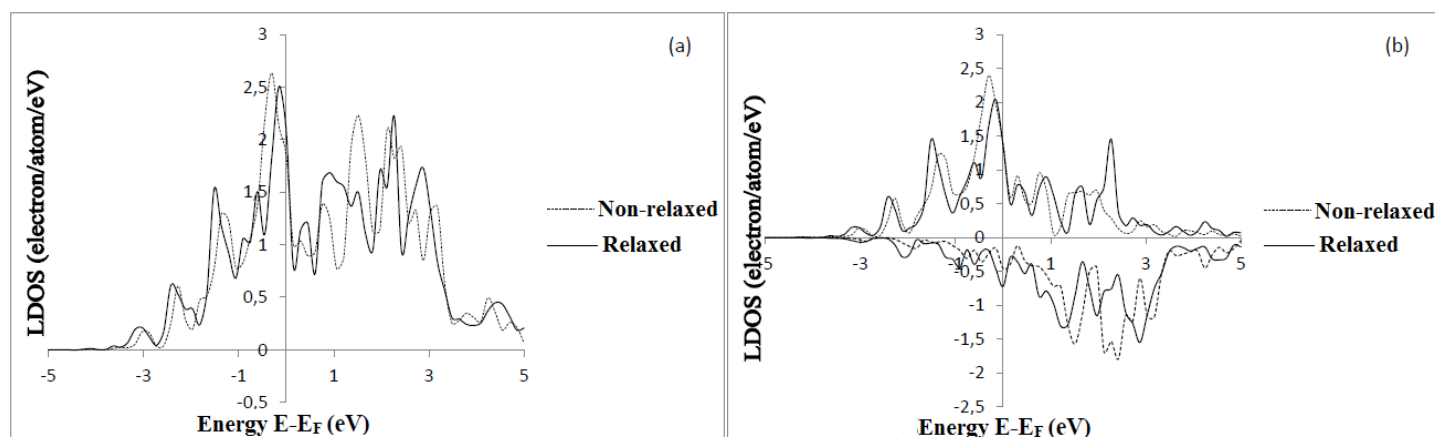
### 3.2.2. The V/Nb system

**3.2.2.1. Relaxation Effect:** According to table 7, as for the results we have obtained so far, the relaxation has the effect of decreasing the moment of V at the surface for the orientation 100. On the other hand for the orientation 110, the vanadium surface ferromagnetic deposited on niobium becomes antiferromagnetic when allowed to relax.

**Table 7.** Magnetic Moment ( $\mu_B$ ) per Atom in Surface of Vanadium Deposited on Niobium

Orientation	Non-relaxed	Relaxed
100	2.47	1.85
110	1.67	+1.32/-1.32

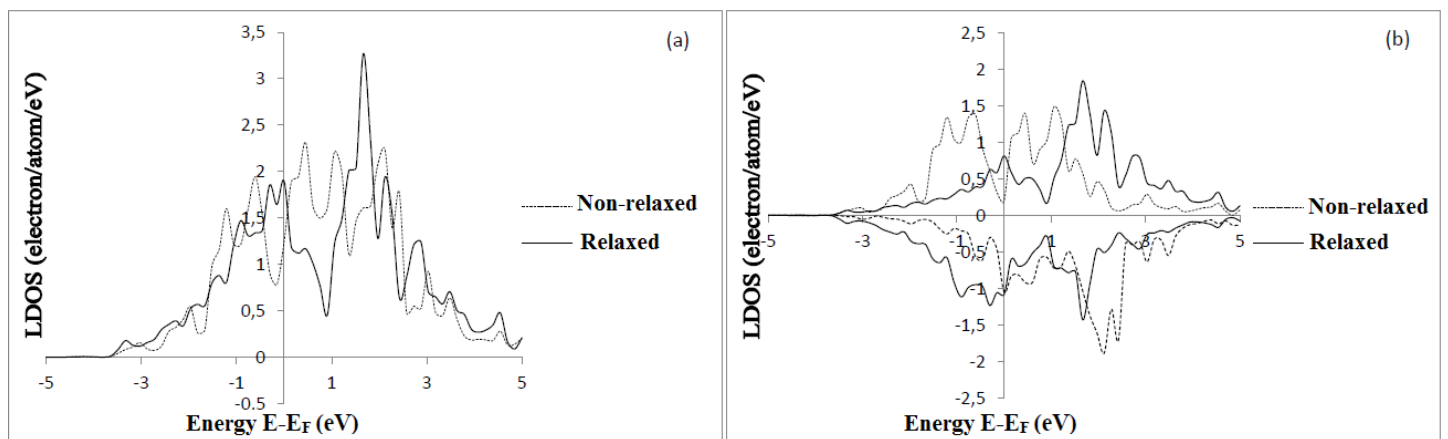
Figure 5 shows that for orientation 100, the relaxation does not change the shape of the ldos much, but we observed a small increase in the spin down population, which causes the magnetic moment to decrease.



**Figure 5:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium on niobium 100 in non-relaxed surface (dotted line) and relaxed surface (solid line). (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

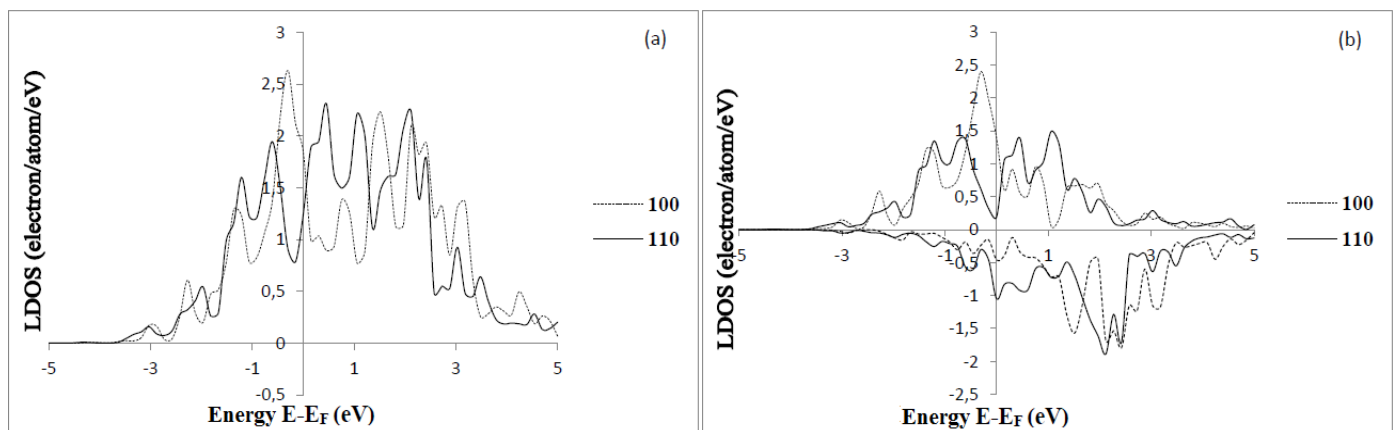
Figure 6(a) reveals that post-relaxation, the overall structure of the local density of states (LDOS) for V(110) undergoes only a minor modification, particularly in the vicinity of the Fermi level. Conversely, an examination of the spin-up and spin-down density distributions in Figure 6(b) shows a reversal of this distribution. Spin-up, which was the majority density prior to relaxation, transitions to a minority density post-relaxation. This inversion is observed for half of the vanadium atoms, resulting in a shift from a positive to a negative magnetic moment.

For the other half, not explicitly shown in the figures, there is no inversion in the distribution, but rather a change in the shape of the spin-up and spin-down LDOS. This alteration contributes to a reduction in the magnetic moment, although it remains positive.



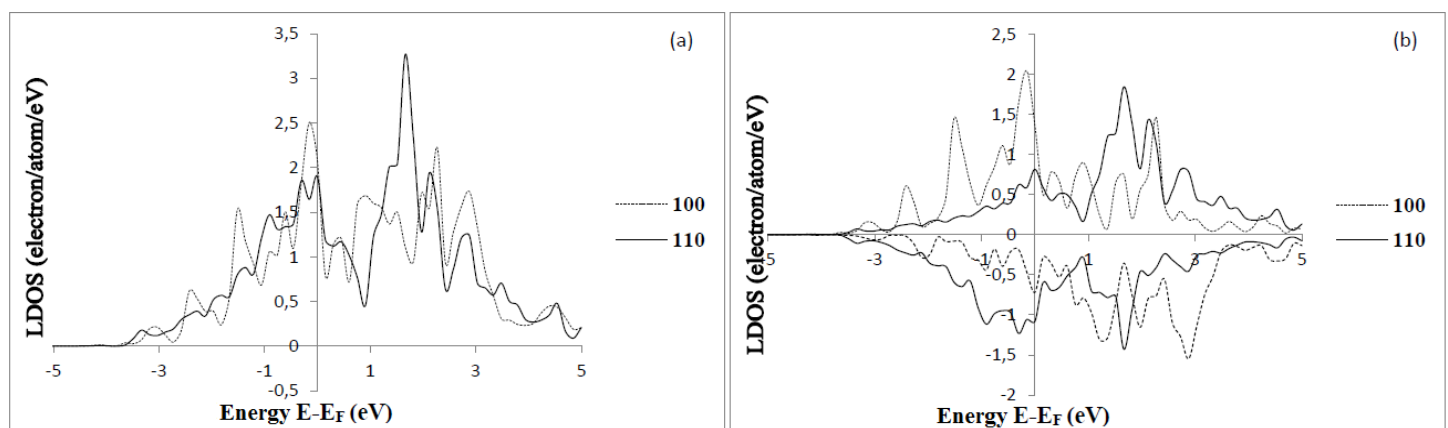
**Figure 6:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium on niobium 110 in non-relaxed surface (dotted line) and relaxed surface (solid line). (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

**3.2.2.2. Orientation Effect:** The change of orientation from 100 to 110 leads to a decrease in the magnetic moment of vanadium for a non-relaxed system (table 7). The ldos in Figure 7(b) shows that below the Fermi level, the density of states for spin down did not vary much by changing orientation while the density of states for spin up decreased when going from orientation 100 to orientation 110.



**Figure 7:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium in V/Nb non relaxed system in 100 surface (dotted line) and 110 surface (solid line). (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

When the layers are relaxed, the ferromagnetic layers with the 100 orientation become antiferromagnetic with the 110 orientation (table 7). Figure 8(b) shows that the up and down spin densities are reversed. The majority spins up with the 100 orientation become a minority when moving to the 110 orientation.



**Figure 8:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium in V/Nb relaxed system in 100 surface (dotted line) and 110 surface (solid line). (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

In general, relaxation tends to decrease the magnetic moment of the surface layer for the (100) orientation. For the (110) orientation, relaxation induces the surface layer to transition into an antiferromagnetic state. This oscillating relaxation mode is a characteristic feature observed in low Miller index transition metal surfaces.

The Centered Cubic (CC) structure significantly influences these results. In a CC structure, atoms at the summits of the cube exhibit a moment opposite to that at the center of the cube. Consequently, for the (100) orientation, the surface atoms, corresponding to the summits of the CC cell cube, possess a positive moment, while the sub-surface layer atoms, corresponding to the center of the CC cell cube, exhibit a negative moment.

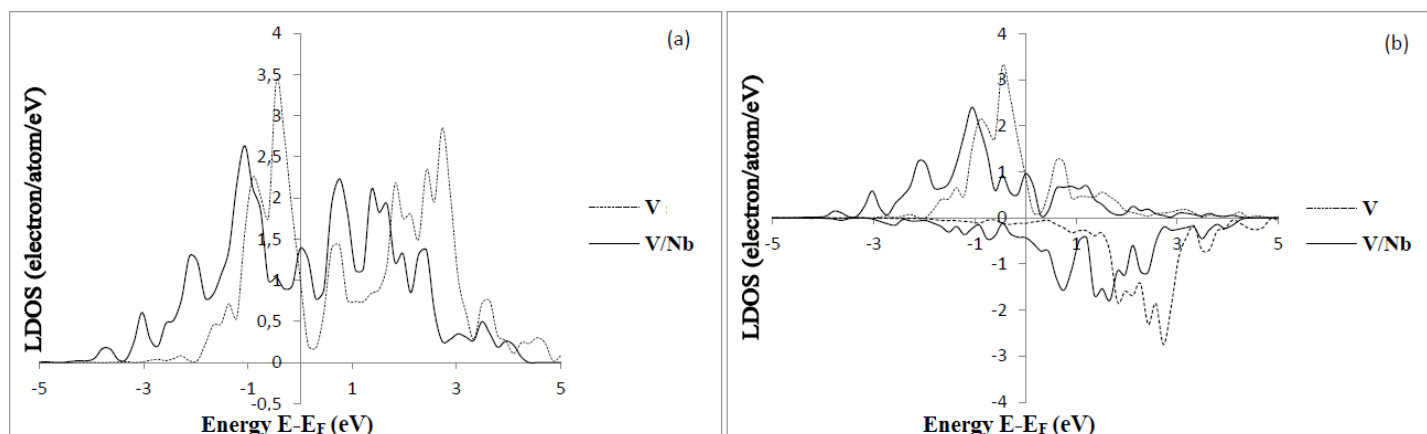
For the (110) orientation, the atoms within a layer originate simultaneously from the summits and the center of the CC cell cube, resulting in each layer having atoms with opposite moments, rendering it antiferromagnetic. However, this transition to the antiferromagnetic state of each layer is contingent upon relaxation. The antiferromagnetic state becomes apparent only after relaxation. In this condition, the reduced distances between atoms intensify interactions, facilitating the emergence of the antiferromagnetic state.

### 3.2.2.3. Coupling V/Nb Effect

**Table 8.** Magnetic Moment ( $\mu_B$ ) per Atom in Surface of V(100) system and V/Nb(100) system

Orientation	Non-relaxed	Relaxed
V(100)	3.24	0.91
V/Nb(100)	2.47	1.85

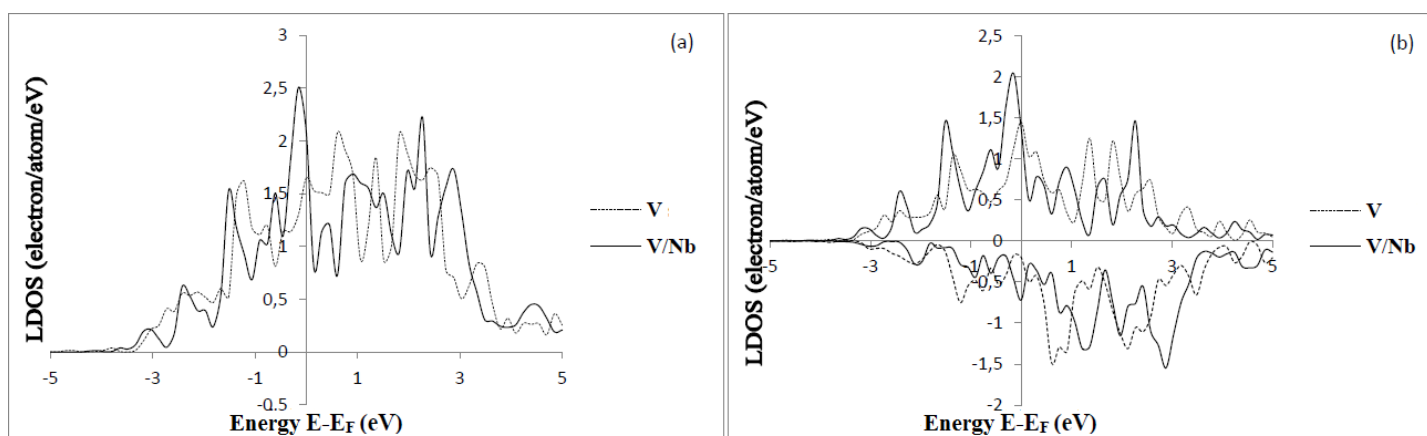
For orientation 100, changing the substrate from vanadium to niobium has the effect of decreasing the moment of the vanadium surface deposited on the substrate when the system is not relaxed. On the other hand, when we relaxed the system, the moment of the vanadium surface increases when the substrate is changed from vanadium to niobium as shown in table 8.



**Figure 9:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium in V(100) non relaxed system (dotted line) and V/Nb(100) non relaxed system (solid line). (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

The analysis of the local density of states (LDOS) reveals that in non-relaxed systems, transitioning the substrate from V to Nb results in an expansion of the d-band width, particularly influenced by the density of spin-up states (Figure 9(a)). Simultaneously, there is an increase in spin-down density (Figure 9(b)). This combined effect of increased bandwidth and spin-down density contributes to a reduction in the magnetic moment of the vanadium at the surface.

In contrast, for relaxed systems, changing the substrate to Nb does not lead to an increase in the width of the d-band (Figure 10(a)). However, there is an elevation in spin-up density accompanied by a decrease in spin-down density, resulting in an overall increase in the magnetic moment of vanadium.



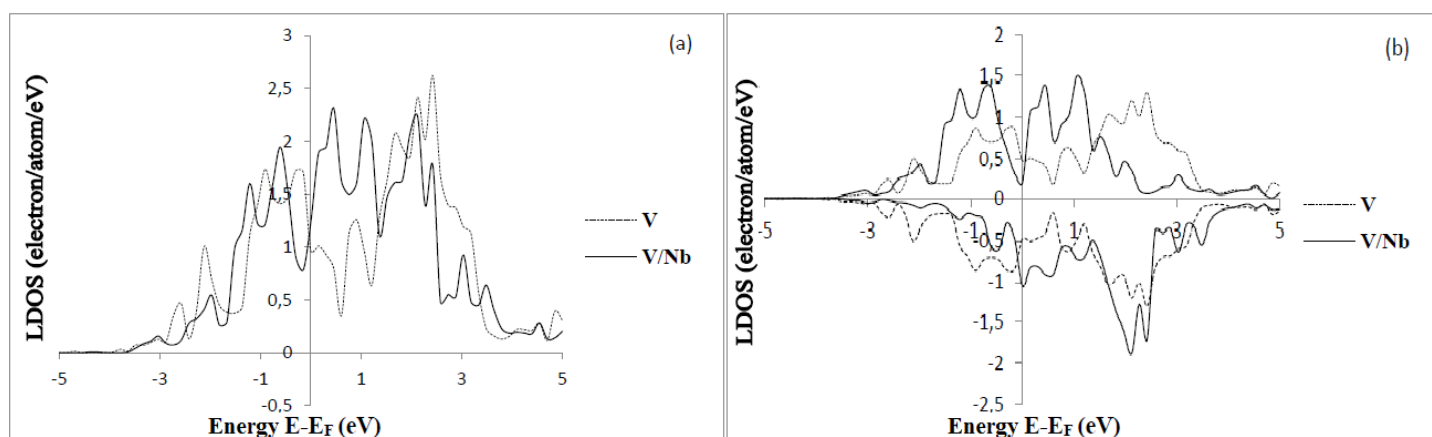
**Figure 10:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium in V(100) relaxed system (dotted line) and V/Nb(100) relaxed system (solid line). (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

For orientation 110, the system formed by V alone has zero magnetic moment. On the other hand, the V at the surface acquires a moment when the substrate has been changed to Nb. If the system is not relaxed, the surface of V is ferromagnetic and if left relaxed, the surface of V becomes antiferromagnetic as shown in table 9.

**Table 9.** Magnetic Moment ( $\mu_B$ ) per Atom in Surface of V(110) system and V/Nb(110) system

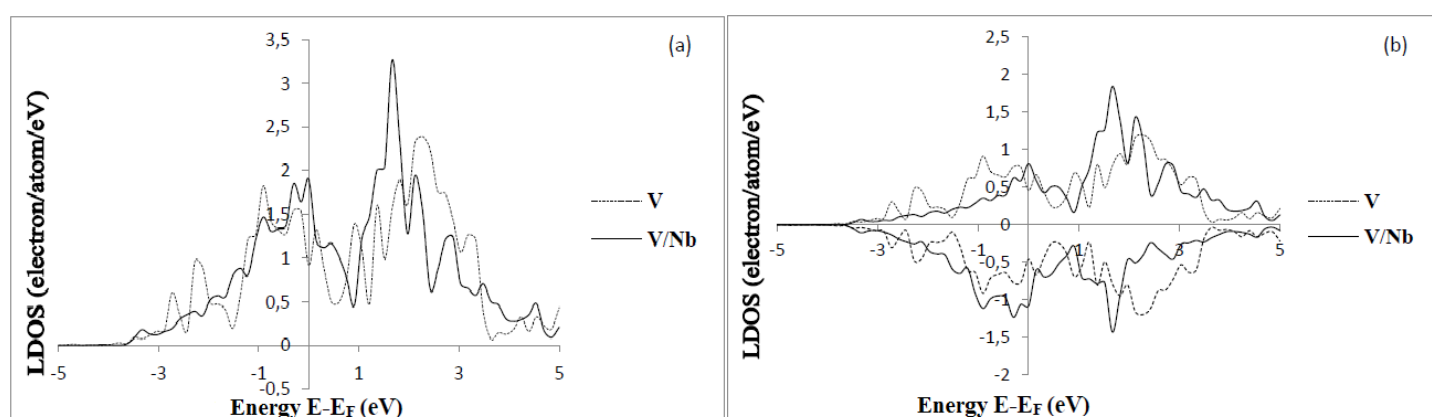
Orientation	Non-relaxed	Relaxed
V(110)	0	0
V/Nb(110)	1.67	1.32/-1.32

Altering the substrate to Nb does not induce a change in the width of the d-band; however, it does result in a modification of the distribution of spin-up and spin-down densities. In the non-relaxed system, the spin-up density increases while the spin-down density decreases for each surface atom of V (Figure 11(b)). In the relaxed system, a more intricate pattern emerges, where the spin-up density decreases and the spin-down density increases for some atoms within a shell (Figure 12(b)). Conversely, for other atoms in the same shell, there is an increase in spin-up density accompanied by a decrease in spin-down density.



**Figure 11:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium in V(110) non relaxed system (dotted line) and V/Nb(110) non relaxed system (solid line). (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

In the 110 orientation, when the layers are not relaxed, the V/Nb coupling induces the emergence of magnetic moments for both V and Nb. Notably, these moments exhibit opposite signs. Conversely, upon relaxing the layers, the observation reveals the formation of antiferromagnetic layers. These findings can be rationalized by considering the magnetic properties inherent in CC meshes, akin to the patterns observed in previous cases.



**Figure 12:** The figure presents the local density of state (ldos) of d-band of vanadium in V(110) relaxed system (dotted line) and V/Nb(110) relaxed system (solid line). (a) total ldos, (b) ldos with spin up and spin down.

In the non-relaxed 100 orientation, the coupling of V/Nb leads to a reduction in the absolute value of the magnetic moment for both V and Nb. Conversely, when the V/Nb system undergoes relaxation, the magnetic moments of both V and Nb increase compared to the values observed for V alone or Nb alone. The crucial factor influencing this behavior is the atomic radius. Given that the atomic radius of V is smaller than that of Nb, the relaxation of V atoms on Nb results in a less compact V layer compared to a system comprising V alone. In this scenario, the magnetic moment of V in the

V/Nb system increases in comparison to the moment of V in the system with V alone. Additionally, it is noted that the magnetic moment of Nb is primarily induced by the moment generated by V.

## 4. CONCLUSION

The investigation of Vanadium magnetism oriented along the (100) and (110) directions, coupled with the transition metal niobium, was conducted using density functional theory in this thesis. Calculations were performed utilizing the DACAPO code, facilitating structural analysis through layer relaxation, magnetic moment calculations, and the study of local density of states (LDOS) for the surfaces.

The supercell technique, involving the representation of surfaces by associating a metal plane with an empty space, was employed to model the studied surfaces. This approach maintains symmetry throughout space, satisfying the periodicity condition stipulated by Bloch's theorem.

Geometric optimization yielded results consistent with the literature, revealing an oscillating relaxation mode for the V and Nb slabs in both orientations studied. Subsequent to the structural analysis, magnetic moments of the layers were computed with and without supercell relaxation. It was observed that the magnetic moment per atom of the single element closely approximates that of the isolated atom reported in the literature, but undergoes a rapid reduction post-surface optimization. Significant ferromagnetic moments were identified for the V (100) and V (110) layers, aligning well with results obtained using alternative methods. Relaxation effects decreased magnetic moments by 25% for the (100) orientation and 20% for the (110) orientation for V or Nb alone at the surface. Conversely, an increase in the magnetic moment was noted for the V (100) surface and V in the V/Nb system compared to the surface of V alone, highlighting the impact of realistic surface relaxation. The investigation of local density of states (LDOS) confirmed the magnetic properties of the layers. Systems composed of V and Nb with antisymmetric LDOS exhibit hybridized d-bands, giving rise to significant magnetic moments on the external surface. Slabs with symmetric spins do not manifest macroscopic magnetic properties due to orbital charge cancellation. Supercell geometry optimization attenuates the amplitude of LDOS curves for different layers, consequently reducing the magnetic moment depending on the considered orientation.

The CC structure emerges as a critical factor in LDOS analysis, as surface properties are influenced by the positions of atoms forming the layers. This study affirms that V on the Nb substrate exhibits a magnetic moment irrespective of the orientation considered. Addressing this intrinsic magnetic property of vanadium helps reconcile discrepancies with results obtained through other methods, such as experimental analyses using LEED or TB.

## 5. REFERENCES

1. Kim I.G., Lee J.I. A precise first-principles study on the non-existence of ferromagnetism in V monolayer on the Nb(001) surface. *Current Applied Physics*. 2001; 1(2-3):183-185.
2. Khalifeh J.M. Magnetic structure of vanadium overlayers on semi-infinite Nb substrate. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 1997; 168(1-2):25-30.
3. Hammer B., Hansen L.B., Nørskov J.K. Improved adsorption energetics within density-functional theory using revised Perdew-Burke-Ernzerhof functionals. *Physical Review B*. 1999; 59 (11): 7413-7421.
4. Ab initio pseudopotential code Dacapo (version 2.7.3, 2003), developed at CAMPOS (Center for Atomic-Scale Materials Physics, Department of Physics, Technical University of Denmark, Lyngby; see <http://www.fysik.dtu.dk> for details).
5. Vanderbilt D. Soft self-consistent pseudopotentials in a generalized eigenvalue formalism. *Physical Review B*. 1990; 41 (11): 7892-7895.
6. Perdew J.P., Wang Y. Accurate and simple analytic representation of the electron-gas correlation energy. *Physical Review B*. 1992; 45 (23): 13244-13249.
7. Perdew J.P., Chevary J.A., Vosko S.H., Jackson K.A., Perderson M.R., Singh D.J., Fiolhais C. *Physical Review B*. 1992; 46 (11): 6671-6687.
8. Monkhorst H.J., Pack J.D. Special points for Brillouin-zone integrations. *Physical Review B*. 1976; 13 (12): 5188-5192.
9. Kittel C. Introduction to Solid State Physics. 7th ed., vol. 23. New York: Wiley; 1996.
10. Ramanathan A.A., Khalifeh J.M., Hamad B.A. A DFT study of substrate effect on the magnetism of V(001) surface. *Surface Science*. 2011; 605(11-12): 1074-1076.
11. Methfessel M., Hennig D., Scheffler M. Trends of the surface relaxations, surface energies, and work functions of the 4d transition metals. *Physical Review B*. 1992; 46 (8): 4816-4829.
12. Shein K.I., Shein I.R., Medvedeva N.I., Shalaeva E.V., Kuznetsov M.V., Ivanovskii A.L. Effects of Atomic Relaxation and the Electronic Structure of Niobium (100) and (110) Surfaces. *The Physics of Metals and Metallography*. 2006; 102(6): 604-610.
13. Lo W.S., Chien T.S., Fang B.S., Wei C.M., Mei W.N. Photoelectron-diffraction studies of Nb(001). *Surface Review and Letters*. 1998; 5(5): 1035-1041.
14. Ramanathan A.A., Khalifeh J.M., Hamad B.A. Structure and magnetism of the V/Ta(0 0 1) surface: A DFT calculation. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2009; 321(22): 3804-3807.
15. Bihlmayer G., Asada T., Blügel S. Electronic and magnetic structure of the (001) surfaces of V, Cr, and V/Cr. *Physical Review B*. 2000; 62 (18): R11937-R11940.
16. Jensen V., Andersen J.N., Nielsen H.B., Adams D.L. The surface structure of V(100). *Surface Science*. 1982; 116(1): 66-84.
17. Bartynski R.A., Heskett D., Garrison K., Watson G.M., Zehner D.M., Mei W.N., Tong S.Y., Pan X. Photoelectron diffraction determination of the geometry of a clean metal surface: Ta(100). *Physical Review B*. 1989; 40 (8): 5340- 5343.



18. Ramanathan A.A., Khalifeh J.M., Hamad B.A. Evidence of surface magnetism in the V/Nb(0 0 1) system: A total energy pseudopotential calculation. *Surface Science*. 2008; 602(2):607–613.



**How to cite this article: Dimbimalala Randrianasoloharisoa, Andry Nirina Randrianarisoa, and Fils Lahatra Razafindramisa.** A COMPUTATIONAL STUDY ON THE MAGNETIC PROPERTIES OF VANADIUM LAYERS ON NIOBIUM SUBSTRATES: EFFECTS OF SURFACE ORIENTATION, RELAXATION, AND ELECTRONIC STRUCTURE. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023;17(4): 266-276. DOI: 10.5281/zenodo.10029598

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

# Influence of Ph on Bioaccumulation of Perfluoroalkyl Substances In *Daphnia Magna* Exposed to Model Proteins

| Andry Harinaina, Rabearisoa <sup>1\*</sup> | Hajandrainy, Rabearisoa <sup>1</sup> | and | Xinghui, Xia <sup>2</sup> |<sup>1</sup>Université de Fianarantsoa | Ecole Normale Supérieure : Sciences et technologies | Fianarantsoa | Madagascar |<sup>2</sup>School of Environment | Beijing Normal University | State Key Laboratory of Water Environment Simulation | Key Laboratory for Water and Sediment Sciences (Ministry of Education) | Beijing 100875 |

| DOI: 10.5281/zenodo.10029929 | | Received September 17, 2023 | | Accepted October 19, 2023 | | Published October 21, 2023 | | ID Article: Satognon-Ref2-4-17ajiras171023 |

## ABSTRACT

**Background:** Perfluoroalkyl substances (PFASs) constitute a class of anionic fluorinated surfactants characterized by a perfluoroalkyl chain and carboxylate or sulfonate functional groups. PFASs have seen increased use over the past two decades due to their chemical stability. **Objectives:** Our study aims to assess the influence of different pH levels on the bioaccumulation of six types of PFASs in *Daphnia magna*, particularly in the presence of bovine albumin and soy peptone. **Methods:** Bioaccumulation experiments were conducted, with proteins prepared at concentrations of 10 mg L<sup>-1</sup> in artificial freshwater (AFW). The pH was adjusted to 6.5, 7.5, and 8.5 for each solution. Ten *D. magna* organisms were introduced into each beaker at the onset of exposure after 72 hours. Dialysis experiments were conducted to investigate the binding of proteins to PFASs, determining the partition coefficients (K<sub>p</sub>, L kg<sup>-1</sup>) of PFASs between protein and water. Finally, PFASs in *D. magna* were extracted using an ion-pairing agent and analyzed through liquid chromatography–tandem mass spectrometry. **Results:** The findings indicated that pH significantly affects the bioaccumulation of PFASs by *Daphnia magna* in the presence of proteins under both alkaline and acidic conditions. In the presence of 10 mg L<sup>-1</sup> protein, the body burden of PFASs decreased with increasing pH from 6.5 to 8.5. The decreasing ratios of PFASs body burden in *Daphnia magna* ranged from 27% to 58% for soy peptone and 28% to 72% for bovine albumin. Consequently, it can be concluded that the body burden of PFASs at acidic pH was higher than that at alkaline pH conditions. **Conclusions:** The study suggests that the bioaccumulation of PFASs in *Daphnia magna* is influenced by growth, body weight, and pH conditions in the system. Additionally, partition coefficients (K<sub>p</sub>) of PFASs between protein and water increased with the elongation of PFAS chain length for all treatments in different pH conditions. However, K<sub>p</sub> values decreased as pH increased from 6.5 to 8.5, attributed to a reduction in electrostatic interaction.

**KEYWORDS:** Perfluoroalkyl substances (PFASs), *Daphnia magna*, Bioaccumulation, Protein, Dissolved organic matter (DOM), pH.

## 1. INTRODUCTION

Perfluoroalkyl substances (PFASs) have been synthesized for over fifty years and find extensive applications in various industrial and consumer products. They are commonly used as stain, water, and grease repellents in carpets and clothing, as well as nonstick coatings in cooking utensils [1]. Widespread in aquatic systems [2,3,4] and detected in humans and animals [5], PFASs exhibit persistent traits both in the environment and within the human body, often taking years to clear [6]. Similar to many organic pollutants, PFASs pose toxic effects, including liver damage, increased fetal mortality, and are suspected to be carcinogenic [7].

PFASs demonstrate a propensity for bioaccumulation in aquatic organisms and a tendency to bind to proteins within these organisms. For instance, serum albumin in birds and fishes serves as a primary binding pool for PFOS [8]. Studies by Giesy et al., (2002) reported PFOS concentrations of 2.5 mg ml<sup>-1</sup> in bald eagle serum and 3.6 mg g<sup>-1</sup> in mink liver [9]. Another study [10] focused on PFOS bioconcentration in fish in aquatic systems, revealing concentrations up to 1 mg L<sup>-1</sup>. Consequently, PFASs are sometimes considered proteinophilic compounds [11]. Proteins, ubiquitous in organisms, including animals and plants, are also prevalent in aquatic systems, originating from wastewater in various processing industries, such as abattoir, whey, casein, fish, and vegetables [12].

In our previous work (Xia et al., 2013), we provided evidence that proteins in the aquatic environment can combine with PFASs, reducing their bioavailability [13]. A relatively higher concentration of proteins (> 1 mg L<sup>-1</sup>) was found to decrease the bioaccumulation of PFASs in *D. magna*. Furthermore, aquatic environmental conditions significantly impact the conformation of protein molecules, subsequently affecting their environmental functions, such as interactions with organic pollutants. Ionizable residues in amino acids have been shown to play vital roles in protein binding to other molecules and in enzyme mechanisms, exerting considerable influence on protein structure, stability, and solubility [14,15,16]. The changing value of pH can modify the protonation state of a protein residue, coupling with a conformational change of the protein [16,17]. Given these considerations, the pH value can affect the structure and conformation of proteins. Thus, we hypothesize that pH will influence the interaction of proteins and PFASs, subsequently affecting the bioavailability and bioaccumulation of PFASs in aquatic organisms.

Consequently, the primary objective of this study was to investigate the effects of pH on the bioaccumulation of six types of PFASs in *Daphnia magna*. These include perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA), perfluorononanoic acid (PFNA), perfluorodecanoic acid (PFDA), perfluoroundecanoic acid (PFUnA), and perfluorododecanoic acid (PFDoA). Two model proteins, bovine albumin from animals and soy peptone from plants, were compared, and the influence of pH was examined. Additionally, the study explored the binding of PFASs to protein compounds under different pH values and calculated the freely dissolved concentrations of PFASs to unravel the mechanisms by which pH affects the bioaccumulation of PFASs. This study marks the first report on the effect of pH on the bioaccumulation of PFASs by organisms in water in the presence of protein compounds.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Reagents

PFOA (99.9%) and PFDA (99.9%) were procured from Sigma-Aldrich Chemical Co. (Milwaukee, WI, USA); PFUnA (95%), PFNA (97%), and PFDoA (95%) from Acros Organics (NJ, USA); PFOS (98%) from Tokyo Chemical Industries (Tokyo, Japan). A purity-corrected equimass stock standard solution containing the PFASs was prepared in an 80:20 (v/v) methanol/water solution with a concentration of 200 mg L<sup>-1</sup> for each PFAS. Chromatography-grade methanol was obtained from J.T. Baker (Phillipsburg, NJ, USA). [1,2,3,4-<sup>13</sup>C<sub>4</sub>] perfluorooctanoic acid (MPFOA) (purity > 99%) and [1,2,3,4-<sup>13</sup>C<sub>4</sub>] perfluorooctane sulfonate (MPFOS), used as recovery indicators, were obtained from Wellington Laboratories (Guelph, Canada). Ammonium acetate (98%), methyl-tert-butyl ether (MTBE, 99.5%), and tetrabutylammonium hydrogensulfate (TBA) were procured from Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MI, USA) and used for PFAS extraction from *D. magna*. Bovine albumin and soy peptone were purchased from Sigma-Aldrich (St. Louis, MI, USA) and Organotechnie (La Courneuve, France), respectively. Anhydrous sodium hydrogen phosphate (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) and sodium dihydrogen phosphate monohydrate (NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O) were acquired from Fisher Chemical (Fairlawn, NJ, USA). Spectra6 dialysis bags with a molecular weight of 7000 Da were purchased from Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MI, USA). Hydrochloric acid (HCl, 37%), sodium hydroxide (NaOH, 99.99%), calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>), and sodium chloride (NaCl) were obtained from Sinopharm Chemical Reagent Co., Ltd (Shanghai, China).

### 2.2 *Daphnia magna* cultivation

*D. magna* were cultured under conditions described in the guideline of Organization for Economic Cooperation and Development for the testing of chemicals [18]. Briefly, the *D. magna* were cultured in artificial freshwater (AFW) containing 0.294g CaCl<sub>2</sub>, 0.123g MgSO<sub>4</sub>, 0.064g NaHCO<sub>3</sub>, and 0.006g KCl per liter of deionized water (with Ca<sup>2+</sup>=2.64 mmol L<sup>-1</sup>, Na<sup>+</sup>=0.76 mmol L<sup>-1</sup>, and pH=7.15), and they were maintained at 21 ± 0.5°C under a 16: 8 (light: dark) photoperiod. Cultured *daphnids* were fed a suspension of *Scenedesmus subspicatus* twice a day. The detailed culture procedure has been described in Dai et al., (2013) study [19].

### 2.3 Effect of pH on the bioaccumulation of PFASs in the presence of proteins

The bioaccumulation experiments were carried out in 500 ml polypropylene beakers. Each type of protein was prepared with a concentration of 10 mg L<sup>-1</sup> in AFW, respectively. A total of 200 ml protein solution was added to each beaker, followed by the addition of 0.02 mL of PFAS solution (50 mg L<sup>-1</sup>) with a nominal concentration of 5 µg L<sup>-1</sup> for each PFAS. Methanol was employed as a carrier, and its quantity in the final test medium was less than 0.1 ml L<sup>-1</sup>, having no toxic effect on *D. magna*. Subsequently, 0.1 mol L<sup>-1</sup> NaOH and HCl were utilized to adjust the pH values to 6.5, 7.5, and 8.5 for each solution, respectively. *D. magna* is known to thrive in water with a pH ranging from 6 to 9 [20]. The beakers were placed on a shaker at 95 rpm in the dark for 72 h. Afterward, a total of 10 *D. magna* (with an average wet weight of 2.07±0.10 mg) were added to each beaker and cultured at 21 ± 0.5°C under a 16:8 (light: dark) photoperiod for 72 h. Subsequently, the 10 *D. magna* were transferred from each beaker using a pipette to a polystyrene culture dish and rinsed with AFW. The rinsed *D. magna* were dried with filter paper and then transferred to a 10 ml centrifuge tube, where a wet weight was determined. The *D. magna* were then frozen and stored at -20 °C until extraction. A control group was established to examine the bioaccumulation of PFASs in the absence of protein, and a blank experiment without spiking PFASs and protein was also conducted. Each experiment set was performed in triplicate. The pH and hardness of the experimental solutions were measured at the beginning and end of all tests, and the results indicated that their variations were ≤ 5%. Despite no food being provided to the *D. magna* during the test period, all the daphnids survived after the bioaccumulation experiments. The bioaccumulation factors (BAF, L kg<sup>-1</sup>) of PFASs at the end of bioaccumulation experiments were calculated according to equation (1):

$$BAF = \frac{C_B}{C_W} \quad (1)$$

Where:

**C<sub>B</sub>** is the PFAS concentration in *D. magna* (µg kg<sup>-1</sup>) at the end of the experiment;  
**C<sub>W</sub>** is the PFAS concentration in water phase (µg L<sup>-1</sup>).

## 2.4 Dialysis bag experiments

Dialysis bag experiments were conducted to investigate the binding of protein to PFASs. Before the experiment, dialysis bags were cut into 8 cm lengths and placed in boiling deionized water for 5 minutes, after which they were washed with deionized water (at 60~80 °C) followed by additional rinses at room temperature (twice). A total of 20 mL of bovine albumin or soy peptone stock solution with a concentration of 10 mg L<sup>-1</sup> was added to each dialysis bag. The bags were sealed and placed into 200 ml of deionized water in 500 ml polypropylene beakers. They were then positioned on a shaker at 90 rpm in darkness for 72 hours to remove components with a molecular weight less than 7000 Da.

The pre-treated dialysis bags containing protein solutions were transferred to beakers with 200 ml of AFW. Specific amounts of PFASs solution with nominal concentrations of 5 µg L<sup>-1</sup> were added to these dialysis bags. Subsequently, the pH of the solution (both inside and outside of the dialysis bag) was adjusted to 6.5, 7.5, and 8.5, respectively, for each type of protein. The dialysis bags were resealed, and the beakers were again placed on a shaker at 120 rpm in darkness at 21°C for 7 days. Each experiment consisted of three replicates.

After reaching equilibrium, water samples were collected from the inside and outside of the dialysis bags for the determination of PFASs. The partition coefficients ( $K_p$ , L kg<sup>-1</sup>) of PFASs between protein and water were calculated using the following equation

$$K_p = \frac{C_s}{C_{free}} \quad (2)$$

Where:

**$C_{free}$  (µg L<sup>-1</sup>):** is the freely dissolved concentration of each PFAS in the solution of PFASs and protein, equal to the PFAS concentration outside the dialysis bag;

**$C_s$  (µg kg<sup>-1</sup>):** is the PFAS concentration bound with protein, which was calculated based on the difference of PFASs between inside and outside of the dialysis bag.

## 2.5 Extraction and analysis of PFASs

The PFASs in *D. magna* and water samples of the dialysis bag experiments were extracted by an ion-pairing agent extracted technique with slight modification [21,22]. In brief, 2 mL of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (0.25 mol L<sup>-1</sup>), 1 mL of the ion-pairing agent TBA (0.5 mol L<sup>-1</sup>, adjusted to pH 10), 2 mL of MTBE, and 100 µL (10 ng) of MPFOA and MPFOS (the internal standards) were added into each polypropylene centrifuge tube containing 10 *D. magna* or 4.5 mL water sample. The detailed procedure has been described in the previous study [19]. PFASs were analyzed using liquid chromatography–tandem mass spectrometry (LC–MS/MS; Dionex Ultimate 3000 and Applied Biosystems API 3200) in electrospray negative ionization mode. A 10 µl aliquot of sample was injected into a 4.6 x150 mm Acclaim 120 C18 Column, and the mobile phase was 50 mmol L<sup>-1</sup> ammonium acetate and methanol with a flow rate of 1 mL min<sup>-1</sup>. The detailed procedure can be found in Xia et al., (2012) previous study [19].

## 2.6 Quality assurance and quality control

The determined limits of quantification (LOQs) (S/N=10) for the target analytes using LC-MS/MS fell within the range of 0.01-0.05 µg L<sup>-1</sup>. Moreover, all procedural blank areas were consistently found to be less than half of the LOQs. The correlation coefficients of the standard calibration curves consistently exceeded 0.99, and the repeatability of these calibration curves was systematically verified before each set of determinations. Recoveries of the target analytes (MPFOS and MPFOA) from both water samples and protein solutions were within the robust range of 86% to 108%. Similarly, recoveries of the target analytes from *D. magna* organisms ranged from 81% to 95%, while the recoveries of MPFOS and MPFOA—mass spectrometric isotopes spiked into *D. magna* samples—were robustly between 90% and 95% (Table S1). A comprehensive procedure for quality assurance and quality control is elucidated in the Supporting Information, and all data underwent corrections based on the recovery indicators.

The mass balance results of the dialysis bag experiments revealed that the variations in PFASs within the system were consistently less than 10%. Additionally, the results from the control experiment demonstrated that the difference in PFAS concentration between the inside and outside of the dialysis bag was consistently less than 8% in the absence of protein. PFASs were not detected in the *D. magna* samples from the blank bioaccumulation experiments. Furthermore, each PFAS accumulated in *D. magna* constituted less than 2% of the total spiked amount in the system, affirming that the bioaccumulation of PFASs in the organisms did not substantially alter the nominal concentrations of PFASs in the water system or disrupt the equilibrium of PFASs between protein and water.

**Table S1:** Analytical parameters and recoveries of PFASs.

Analyte	Molecular structure	Log $K_{ow}^a$	Log $K_{oc}^b$ (SE, n=3)	Primary and production ions(m/z)	Daphnia tissue recovery (%)	Water sample recovery (%)
PFOS	C <sub>8</sub> F <sub>17</sub> SO <sub>3</sub> H	5.25	2.57(0.13)	498.9 > 79.8	83±2	86±9
PFOA	C <sub>7</sub> F <sub>15</sub> COOH	4.30	2.06	412.9 > 369.0	95±4	86±9
PFNA	C <sub>8</sub> F <sub>17</sub> COOH	4.84	2.39(0.09)	463.0 > 418.9	81±3	93±5
PFDA	C <sub>9</sub> F <sub>19</sub> COOH	5.30	2.76(0.11)	512.9 > 468.9	85±5	108±5
PFUnA	C <sub>10</sub> F <sub>21</sub> COOH	5.76	3.30(0.11)	562.9 > 518.9	88±1	108±2
PFDaA	C <sub>11</sub> F <sub>23</sub> COOH		-	612.9 > 569.0	82±5	104±2
MPFOA	[1,2,3,4- <sup>13</sup> C <sub>4</sub> ] perfluorooctanoic acid			416.8 > 371.8	95±2	90±5
MPFOS	[1,2,3,4- <sup>13</sup> C <sub>4</sub> ] perfluorooctane sulfonate			503.0 > 79.9	90±2	91±6

<sup>a</sup> $K_{ow}$ -octanol/water partition coefficient, data from Arp, H.P.H., Niederer, C., Goss, K.U., 2006. Predicting the partitioning behavior of various highly fluorinated compounds. Environ. Sci. Technol. 40, 7298-7304.

<sup>b</sup>Log $K_{oc}$  data from Higgins, C., Luthy, R., 2006. Sorption of Perfluorinated Surfactants on Sediments. Environ. Sci. Technol. 40, 7251-7256.

## 2.7 Statistical data analysis

All statistical analyses were performed using SPSS 18.0 for windows (SPSS Inc., Chicago (IL), USA). Analysis of variance (ANOVA, one factor) was carried out to test differences between each two compared groups. Duncan's multiple range test was used to test the differences among compared groups. Difference was considered significant when the significance level was smaller than 0.05.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

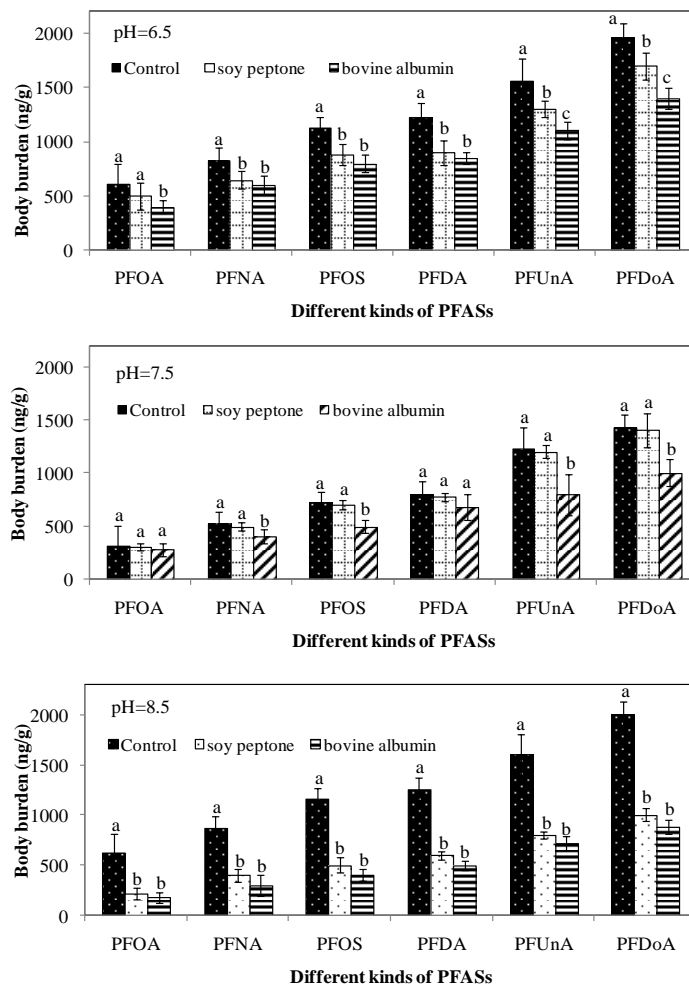
### 3.1 Effects of soy peptone and bovine albumin on PFAS bioaccumulation

According to the results shown in Figure 1, the decreasing ratios of body burden of PFASs caused by bovine albumin (28~72%) were higher than those caused by soy peptone (27~58%) in the protein concentration (10 mg L<sup>-1</sup>) in the systems and the decrease was significant for PFUnA and PFDaA (P < 0.05). For most kinds of PFASs, the body burden of 10 mg L<sup>-1</sup> bovine albumin group was significantly lower than soy peptone including the control group (P < 0.05). It can be inferred that bovine albumin with a higher molecular weight had more effect on the bioaccumulation of PFASs by *D.magna* than soy peptone in water (Table S2) with presence of different pH conditions. We observed the similar result in our previous work Xia et al., (2013) [23]. Furthermore, the results showed that the fraction of high molecular weight of protein plays an important role on the bioaccumulation of PFASs when compared to the low molecular weight of protein and both protein inhibited the bioaccumulation.

**Table S2** Elemental composition of bovine albumin and soy peptone used in this study

Physico-chemical characteristics	Bovine albumin <sup>a</sup>	Soy peptone <sup>b</sup>
Molecular weight (Da)	66.5kDa	80% <7 kDa and 20% >7 kDa
Total Amino acids	607.0	494
Total nitrogen (TN) (%)	16.0	8.8 -10.1
$\alpha$ - amino nitrogen (AN) (%)	-	3.0 - 3.8
AN/TN x 100	-	30 - 43
Chloride (as NaCl) (%)	0.9	≤ 3.0
Sulfated ash (%)	≤2.0	≤15
pH of 1% Solution	5.2-7	-
pH (5 % solution)	-	6.6 – 7.6
Overall dimensions (Å)	40 × 140	-
Frictional ratio, $f/f_0$	1.30	-
Estimated $\alpha$ –helix (%)	54	-
Estimated $\beta$ -form (%)	18	-
Residue on ignition (%)	-	≤ 18
Loss on drying (%)	-	≤ 11
Intrinsic viscosity ( $\eta$ )	0.0413	-
Diffusion constant, $D_{20,w} \times 10^7$	5.9	-
Fatty Acid Depleted	5.3	-
Sedimentation constant, $S_{20,w} \times 10^{13}$	4.5 (monomer), 6.7 (dimer)	-

<sup>a</sup> data provided by SIGMA, 3050 Sprunce Street, Saint Louis, Missouri 63103 USA; <sup>b</sup> data provided by Organotechnie® S.A.S. Edition 2010/02 27, avenue Jean Mermoz, 93120 La Courneuve, France.



**Figure 1:** Effects of soy peptone and bovine albumin ( $10 \text{ mg L}^{-1}$ ) on the bioaccumulation of PFASs in *Daphnia magna* under different pH conditions (mean $\pm$ standard deviation,  $n=3$ ).

### 3.2 Effect of pH on PFAS bioaccumulation in the presence of proteins

The pH plays a crucial role in adsorption experiments owing to the pronounced reactivity of  $\text{H}^+$  (or  $\text{OH}^-$ ) in the solution. The impact of different pH values on the bioaccumulation of PFASs in the presence of proteins is depicted in Figure 1 and Figure 2, encompassing a physiologically relevant range as the medium pH transitions from acidic (pH = 6.5) to basic conditions (pH = 8.5).

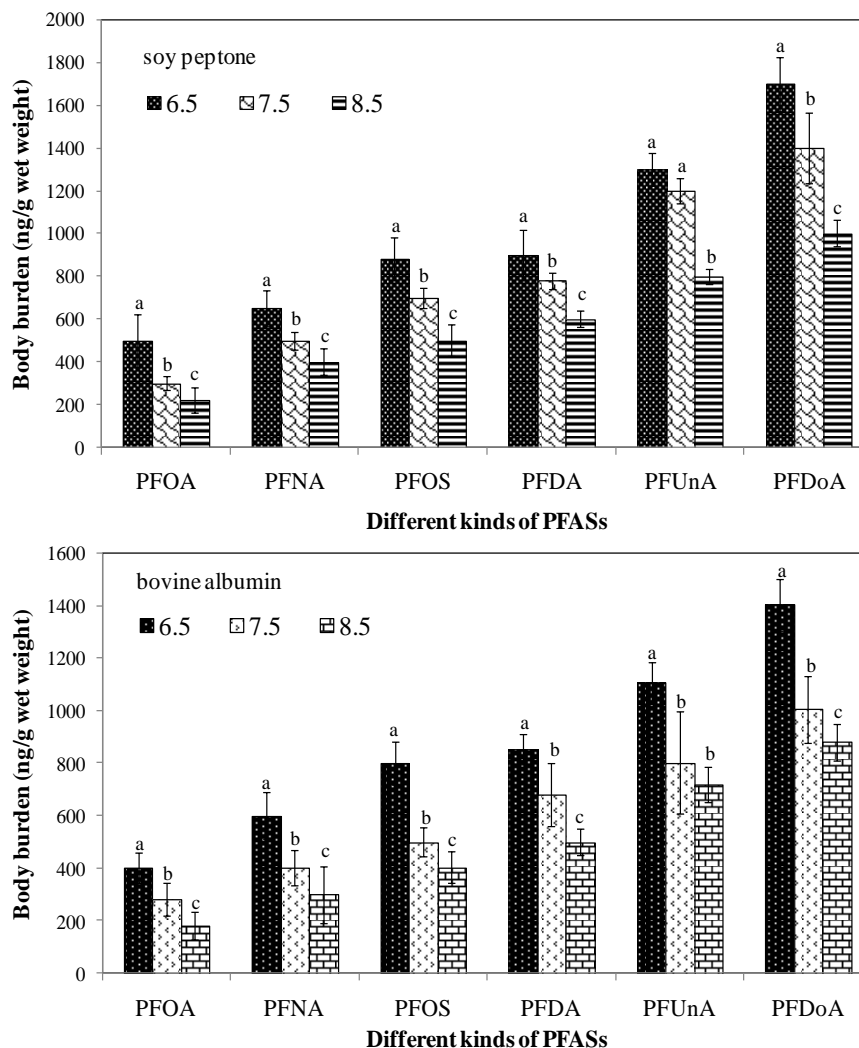
As illustrated in Figure 1, the body burden of the protein solution was markedly lower than the control group values (absence of protein) when the pH ranged from 6.5 to 8.5 ( $P < 0.05$ ). Notably, there were no significant differences in the body burdens for PFOA, PFNA, and PFDA ( $p > 0.05$ ) at pH=7.5. Since PFASs are ionic organic compounds, prone to ionization under alkaline conditions, the freely dissolved PFASs appear to be facilitated at high pH values. Consequently, bioaccumulation could be inhibited at high pH, as demonstrated by the significantly lower body burden of PFASs at pH 8.5 compared to other pH levels in the control group. For instance, the body burden of PFDoA decreased from  $1700 \pm 70$  to  $1000 \pm 50$  and  $1400 \pm 27$  to  $900 \pm 25 \text{ ng g}^{-1}$  when the pH increased from 6.5 to 8.5 for soy peptone and bovine albumin, respectively.

Given that PFASs exist in anionic form, electrostatic attraction facilitates the adsorption process. Figure 2 clearly indicates that PFASs adsorption decreases as the pH increases, attributed to the reduction in positive sites on the protein surface. Similar trends have been reported for other minerals [24,25]. In the presence of  $10 \text{ mg L}^{-1}$  soy peptone, the body burden and BAFss (Table 1, Table S3) of PFASs decrease with increasing pH, dropping by 2758% when the pH increases from 6.5 to 8.5. For bovine albumin, the trends of body burden and BAFss mirror those in soy peptone solutions, decreasing by 2872%. The body burden of PFASs in pH 8.5 solution is significantly lower than that in neutral or acidic conditions ( $P < 0.05$ ). It appears that the acidic condition benefits the bioavailability of PFASs in protein solutions. Similar trends have been reported by Yu and al., (2009) and Yu et al., (2009) [26,27], who demonstrated that the sorption of PFOS by sediments, activated carbon, and resin decreases with increasing pH. The trends shift in alkaline conditions, inhibiting the bioaccumulation of PFASs for both soy peptone and bovine albumin. Furthermore, the body burden of the bovine albumin group is only about 47% of the control group, significantly lower than other groups ( $P < 0.05$ ).

In summary, pH exerts a significant influence on the bioaccumulation of PFASs in *D. magna* in the presence of soy peptone and bovine albumin, with both proteins inhibiting bioaccumulation in this scenario. Notably, the body burden in the bovine albumin is significantly lower than in the other groups ( $P < 0.05$ ), as shown in Figure 1. When *Daphnia magna* were exposed to acidic conditions (pH = 6.5), the body burden reached its highest values, while similarly low values were observed under neutral and basic conditions. However, the body burden in the pH 6.5 group is relatively higher. This discrepancy may be attributed to *D. magna's* preference for alkaline conditions [20]. There was a stress response when exposed to acidic conditions, leading to an accelerated respiratory rate, subsequently increasing the uptake of PFASs. An increase in pH resulted in a decrease in the body burden in the adsorption of six kinds of PFASs on protein, likely due to the reduction in electrostatic interaction. The results indicate that the uptake of these compounds diminishes with an increase in pH value, underscoring the significant role of electrostatic interaction in the adsorption of PFASs on protein [28].

**Table S3**  $BAF_{ss}$  values ( $L\ kg^{-1}$ ) of PFASs based on the nominal concentration of PFASs ( $5\ \mu g\ L^{-1}$ ) under the effect of different pH and types of protein ( $10\ mg\ L^{-1}$ ).

PFASs	PFOA	PFNA	PFOS	PFDA	PFUnA	PFDoA
Control(pH=6.5)	122±11	166±10	226±14	246±17	312±20	392±26
Control(pH=7.5)	64±3	106±5	145±10	160±11	247±13	286±18
Control(pH=8.5)	126±9	174±7	233±11	250±18	320±15	400±30
pH=6.5 soy peptone	100±14	130±16	176±20	180±23	260±9	340±25
pH= 7.5soy peptone	60±4	100±8	140±21	156±11	240±12	280±23
pH=8.5 soy peptone	44±3	80±6	100±20	120±8	160±17	200±12
pH=6.5 bovine albumin	80±5	120±7	160±6	170±11	220±15	280±19
pH= 7.5 bovine albumin	56±12	80±13	100±11	136±24	160±38	200±25
pH=8.5 bovine albumin	36±2	60±7	80±6	100±8	144±18	176±12



**Figure 2:** Effect of pH on the bioaccumulation of PFASs by *Daphnia magna* with the presence of soy peptone and bovine albumin ( $10\ mg\ L^{-1}$ ) (mean±standard deviation, n=3).

### 3.3 Influencing mechanism of pH on PFAS bioaccumulation with the presence of protein

#### 3.3.1 Effect mechanism of pH between protein and PFASs on the bioaccumulation in *Daphnia magna*

Based on the results illustrated in Figure 2, an unexpected yet crucial observation emerged from the data analysis: the body burden of PFASs in *D. magna* at acidic pH was significantly higher than at alkaline pH. This implies that the elevated bioaccumulation might interfere with protein intake, potentially impacting the growth and reproduction of *D. magna*. Furthermore, bioaccumulation was found to be influenced by body weight. When exposed to alkaline conditions, *Daphnia magna* exhibited an average body weight of 4.46 mg, compared to 2.17 mg under acidic conditions after 3 days of exposure in the system. Under alkaline conditions, *D. magna* increased food uptake, allowing for energy availability and potential PFAS elimination from the organism. This suggests that alterations in *D. magna* in acidified waters could be attributed to the low pH effect on respiration. As a result, air breathers could become numerically dominant, hindering normal growth and leading to increased PFAS uptake. However, despite the increased uptake, *D. magna* faced challenges in eliminating PFASs, evident in the elevated bioaccumulation factor (BAF) values at pH 6.5.

Previous studies, such as Alibone et al., (1981) [29], reported depressed O<sub>2</sub> uptake rates in *D. magna* under low pH conditions, affecting gill function. This decrease in CO<sub>2</sub> diffusion gradient due to increasing acidity may contribute to the observed difficulties in PFAS elimination. Additionally, the ingestion and digestion of protein by *D. magna* may result in the incorporation of protein-bound PFASs into the organism.

Furthermore, the release of perfluoroalkyl substances into the environment poses a risk, with differences in uptake processes between neutral and acidic conditions. The neutral pH condition is more lipophilic than the ionized fraction, leading to easier bioaccumulation at low pH. This pH-dependent bioconcentration factor profile aligns with findings in other organisms, such as *Lemna gibba* and *Scenedesmus sp.* In conclusion, prolonged exposure of *Daphnia magna* to PFASs may disrupt the growth status of these organisms at both individual and population levels, posing risks to aquatic ecosystems.

Shifting the focus to bovine albumin and soy peptone molecules, their structures with various functional groups enable both inter- and intra-molecular repulsion and attraction. The finding that the sorption coefficients (K<sub>p</sub>) of bovine albumin and soy peptone at alkaline pH are lower than at acidic pH suggests increased repulsion and protein aggregation at low pH. As pH increases, protein molecules disperse, leading to a decrease in PFAS binding. However, it's important to note that the dispersion of dissolved organic matter can reduce hydrophobic regions, impacting the sorption coefficient of pyrene. For PFAS sorption, various forces come into play due to their hydrophobic and hydrophilic properties. Electrostatic attraction, as highlighted by previous studies, plays a crucial role in PFOS-protein binding, with additional contributions from non-covalent bonds like hydrogen bonds, hydrophobic interactions, and van der Waals forces. Overall, electrostatic interaction depends on PFAS surface charge and protein charge, as reflected in the logK<sub>p</sub> values being lower in high pH solutions compared to low pH solutions, emphasizing the significant role of electrostatic association in PFAS-protein interactions.

## 4. CONCLUSIONS

The pH significantly influences the bioaccumulation of PFASs, potentially serving as the predominant factor in determining the extent of adsorption on proteins. Given that the solution composition also affects PFASs' adsorption behavior, special attention should be given to the potential bridging effect initiated by pH. It was observed that PFASs exhibit greater toxicity and bioconcentration at lower pH levels, thereby impacting the bioaccumulation in *D. magna*.

Dialysis analysis revealed a decrease in the binding coefficients of PFASs with bovine albumin and soy peptone as pH increased from 6.5 to 8.5. The results further highlighted that the interaction between PFASs and proteins is not solely governed by hydrophobic forces; electrostatic associations may also play a significant role in binding PFASs.

The obtained results demonstrate that pH has a considerable impact on the PFASs accumulation process during simultaneous exposure to bovine albumin and soy peptone. Additionally, the bioaccumulation of PFASs is controlled by the growth of *D. magna*.

**Acknowledgements:** This study was supported by National Science Foundation for Distinguished Young Scholars, (No. 51325902), the National Science Foundation for Innovative Research Group (No. 51121003), National Natural Science Foundation of China (No. 51279010), and Specialized Research Fund for the Program of Higher Education (No. 20110003110030).

**Supporting Information:** Additional information includes the QA/QC procedures, analytical parameters of PFASs, physicochemical parameters of protein and BAFSS values of PFASs.

## 5. REFERENCES

1. Fricke M, Lahl U. Risikobewertung von Perfluortensiden als Beitrag zur aktuellen Diskussion zum REACH-Dossier der EU-Kommission. UWSF-Z Umweltchem Ökotox. 2005; 17:36-49.
2. Butt CM, Berger U, Bossi R, Tomy GT. Levels and trends of poly- and perfluorinated compounds in the arctic environment. Sci. Total. Environ. 2010; 408:2936-65.



3. Müller C E, Gerecke A C, Alder A. C., Scheringer M, Hungerbühler K. Identification of perfluoroalkyl acid sources in Swiss surface waters with the help of the artificial sweetener acesulfame. *Environmental Pollution*. 2011; 159: 1419-1426.
4. Vierke L, Staude C, Biegel-Engler A, Drost W, Schulte C. Perfluorooctanoic acid (PFOA) — main concerns and regulatory developments in Europe from an environmental point of view. *Environmental Sciences Europe* 2012; 24:16. doi:10.1186/2190-4715-24-16.
5. Giesy JP, Kannan K. Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife. *Environ. Sci. Technol.* 2001 ; 35 : 1339–1342.
6. Harada K., Saito N, Inoue, K, Yoshinaga T, Watanabe T, Sasaki S, Kamiyama S. and Koizumi A. The influence of time, sex and geographic factors on levels of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate in human serum over the last 25 years. *Journal of Occupational Health*. 2004; 46 (2):141-7.
7. Steenland, K, Fletcher, T, Savitz, DA. Epidemiologic Evidence on the Health Effects of Perfluorooctanoic Acid (PFOA). *Environmental Health Perspectives*. 2010; 8(118):1100–1108.
8. Jones PD, Hu W, De Coen W, Newsted JL, Giesy JP. Binding of perfluorinated fatty acids to serum proteins. *Environ. Toxicol. Chem.* 2003; 22: 2639-2649.
9. Giesy JP, Kannan K. Perfluorochemical surfactants in the environment. *Environ. Sci. Technol.* 2002 ; 36 (7): 146a-152a.
10. Ankley, G. T., D. W. Kuehl, M. D. Jensen, K. M. Linnum, A. Linnum, R. L. Leino and D. A. Villeneuve. Reproductive and developmental toxicity and bioconcentration of perfluorooctanesulfonate in a partial life-cycle test with the fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Environ. Toxicol. Chem.* 2005; 24, 2316–2324.
11. Rayne S, Forest K. 2009. Comment on perfluoroalkyl contaminants in an Arctic marine food web: Trophic magnification and wildlife exposure. *Environ Sci Technol* 43:6112.
12. Ramsay R, Pullammanappallil PC. 2001. Protein degradation during anaerobic wastewater treatment: Derivation of Stoichiometry. *Biodegradation* 12:247–257.
13. Xia X, Rabearisoa A, Jiang X, Dai Z. 2013. Bioaccumulation of perfluoroalkyl substances by *Daphnia magna* in water with different types and concentrations of protein. *Environ Sci Technol* 47:10955– 10963.
14. Gunner MR, Mao J, Song Y, Kim J. Factors influencing the energetics of electron and proton transfers in proteins. What can be learned from calculations. *Biochim Biophys Acta*. 2006; 1757: 942–968. doi: 10.1016/j.bbabi.2006.06.005.
15. Grimsley GR, Scholtz JM, Pace CN. A summary of the measured pK values of the ionizable groups in folded proteins. *Protein Sci.* 2009; 18: 247–251. doi: 10.1002/pro.19.
16. Kukić P, Farrell D, Søndergaard CR, Bjarnadottir U, Bradley J, et al. Improving the analysis of NMR spectra tracking pH-induced conformational changes: removing artefacts of the electric field on the NMR chemical shift. *Proteins*. 2010; 78:971–984. doi: 10.1002/prot.22621.
17. Chakrabarty S, Namslauer I, Brzezinski P, Warshel A. Exploration of the cytochrome c oxidase pathway puzzle and examination of the origin of elusive mutational effects. *Biochim Biophys Acta* . 2011; 1807: 413–426. doi: 10.1016/j.bbabi.2011.01.004.
18. Organisation for Economic Co-operation and Development. 2008. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Paris, France.
19. Dai Z, Xia X, Guo J, Jiang X. 2013. Bioaccumulation and uptake routes of perfluoroalkyl acids in *Daphnia magna*. *Chemosphere* 90:1589–1596.
20. OECD. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris. 2008.
21. Hansen K, Clemen L, Ellefson M, Johnson H. 2001. Compound-specific, quantitative characterization of organic fluorochemicals in biological matrices. *Environ Sci Technol* 35:766–770.
22. Taniyasu S, Kannan K, Horii Y, Hanari N, Yamashita N. 2003. A survey of perfluorooctane sulfonate and related perfluorinated organic compounds in water, fish, birds, and humans from Japan. *Environ Sci Technol* 37:2634–2639.
23. Xia XH, Rabearisoa AH, Jiang XM, Dai ZN. Bioaccumulation of Perfluoroalkyl substances by *Daphnia Magna* in water with different types and concentrations of protein. *Environ. Sci. Technol.* 2013; 47 (19): 10955–10963.
24. Tang CY, Shiang Fu Q, Gao D, Criddle CS, Leckie JO. Effect of solution chemistry on the adsorption of perfluorooctane sulfonate onto mineral surfaces. *Water Res.* 2010; 44 (8): 2654-2662.
25. Johnson RL, Anschutz AJ, Smolen JM, Simcik MF, Lee Penn R. The adsorption of perfluorooctane sulfonate onto sand, clay, and iron oxide surfaces. *J. Chem. Eng. Data.* 2007; 52 (4): 1165-1170.
26. Higgins CP, Luthy RG. Sorption of perfluorinated surfactants on sediments. *Environ. Sci. Technol.* 2006; 40 (23): 7251-7256.
27. Yu Q, Zhang R, Deng S, Huang J, Yu G. Sorption of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate on activated carbons and resin: kinetic and isotherm study. *Water Research.* 2009; 43 (4): 1150-1158.
28. Johnson RL, Anschutz AJ, Smolen JM, Simcik MF, Lee Penn R. The adsorption of perfluorooctane sulfonate onto sand, clay, and iron oxide surfaces. *J. Chem. Eng. Data.* 2007; 52 (4): 1165-1170.
29. Alibone MR, Fair P. The effects of low pH on the respiration of *Daphnia magna* straus. *Hydrobiologia* .1981; 85, (2):185-188.



**How to cite this article: Andry Harinaina, Rabearisoa, Hajandrainy, Rabearisoa , and Xinghui, Xia. INFLUENCE OF PH ON BIOACCUMULATION OF PERFLUOROALKYL SUBSTANCES IN *DAPHNIA MAGNA* EXPOSED TO MODEL PROTEINS. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4): 277-284. DOI: 10.5281/zenodo.10029929**

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

# CARACTERISATION DES MODES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DES POPULATIONS RIVERAINES DU LAC NOKOUE DANS LE 6<sup>ème</sup> ARRONDISSEMENT DE COTONOU AU BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST



## CHARACTERIZATION OF WATER SUPPLY METHODS FOR THE POPULATIONS BORDERING LAKE NOKOUE IN THE 6<sup>th</sup> ARRONDISSEMENT OF COTONOU IN BENIN, WEST AFRICA

| Satognon Florent HOUËSSOU |

Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT/FASH) | Bénin |

| DOI: 10.5281/zenodo.10019346 | Received September 15, 2023 | Accepted October 15, 2023 | Published October 18, 2023 | ID Article | Satognon-Ref2-4-17ajiras151023 |

### RESUME

**Contexte** : Les habitants du 6<sup>e</sup> arrondissement de Cotonou font face à divers défis en matière d'accès à l'approvisionnement en eau potable. **Objectif** : Cette recherche vise à caractériser les méthodes d'approvisionnement en eau des populations riveraines du lac Nokoué dans le 6<sup>e</sup> arrondissement de Cotonou. **Méthodologie** : L'approche méthodologique adoptée repose sur la recherche documentaire et la collecte de données sur le terrain auprès de 339 ménages échantillonnés. Les données collectées comprennent des informations démographiques, climatologiques, épidémiologiques et des détails sur diverses sources d'approvisionnement en eau. Ces données ont été traitées à l'aide des logiciels SPSS et Excel 2016, et les résultats ont été analysés à l'aide du modèle SWOT. **Résultats** : Les résultats révèlent l'existence de différentes sources d'approvisionnement en eau utilisées par les populations pour répondre à leurs besoins quotidiens. Tout au long de la chaîne d'approvisionnement en eau, il a été observé qu'elle est exposée à des risques de contamination significatifs, ouvrant ainsi la voie à de nombreuses maladies d'origine hydrique qui peuvent affecter les ménages consommateurs.

**Mots-clés** : 6<sup>e</sup> arrondissement, Cotonou, méthodes d'approvisionnement en eau, eau potable, assainissement, hygiène.

### ABSTRACT

**Background**: The inhabitants of the sixth district of Cotonou encounter diverse challenges related to the accessibility of potable water. **Objective**: This study seeks to characterize the water supply modalities employed by the lakeside communities surrounding Lake Nokoué in the sixth district of Cotonou. **Methods**: The research employs a methodological framework encompassing literature review and on-site data collection from 339 selected households. The gathered data encompass demographic, climatological, and epidemiological parameters, and detailed information on various water sources. Statistical analyses were conducted using SPSS and Excel 2016 software, and the outcomes were scrutinized utilizing the SWOT model. **Results**: The investigation discloses the diverse water sources the populace utilizes for their daily water requirements. Across the water supply chain, noteworthy vulnerabilities to contamination were identified, posing a substantial risk of waterborne diseases affecting consumer households.

**Keywords**: sixth district, Cotonou, water supply modalities, potable water, sanitation, hygiene.

## 1. INTRODUCTION

La problématique de l'eau est désormais une préoccupation mondiale. Les pays font face à divers défis pour fournir à l'ensemble de leurs citoyens des services d'approvisionnement en eau, d'assainissement, et d'hygiène sûrs et durables. Depuis les années 70, plusieurs conférences internationales axées sur l'environnement ou l'eau ont soulevé la question de l'accès aux ressources de base et du droit à l'eau. La conférence des Nations sur l'eau (1977), la décennie internationale de l'eau et de l'environnement (1992), ainsi que de nombreux rapports de l'ONU et d'autres organisations partenaires ont mis en lumière ces enjeux. On estime qu'une quantité minimale de 20 à 50 litres d'eau potable par jour et par personne est nécessaire pour satisfaire les besoins essentiels [1].

Bien que l'eau soit vitale, des milliards de personnes dans le monde n'ont toujours pas accès à une eau potable. En 2002, selon les estimations de l'OMS, 1,1 milliard de personnes (soit 17 % de la population mondiale) n'avaient pas accès à des sources d'eau améliorées et 2,2 milliards de personnes (soit 42 % de la population mondiale) n'avaient pas accès à un système d'assainissement adéquat. Chaque jour, 3900 enfants de moins de 5 ans meurent de maladies d'origine hydrique [2]. Pour Hassan (2010) [3], plusieurs facteurs influent sur les ressources en eau, notamment la croissance démographique qui exerce une pression importante sur ces ressources, surtout pour les régions pauvres en eau douce. La tendance à l'urbanisation à l'échelle mondiale aggrave également la situation. À cela s'ajoutent les demandes des secteurs agricoles et industriels. Bien que l'Afrique dispose de vastes ressources hydriques, avec des grands fleuves tels que le Congo, le Nil et l'Ouémé, ainsi que des lacs comme le lac Victoria, le continent est le deuxième plus sec après l'Australie, et des millions d'Africains font face à des pénuries d'eau tout au long de l'année [4].

En Afrique, des millions de femmes et d'enfants parcourent chaque jour de longues distances pour s'approvisionner en eau. En moyenne, un ménage met environ une demi-heure pour atteindre le point d'eau [5,6]. L'approvisionnement en eau potable présente des difficultés, même dans des zones où l'eau est abondante, comme en Guinée, surnommée le "château de l'Afrique de l'Ouest", où une grande partie de la population de la capitale (Conakry) n'a pas accès à une eau potable [1].

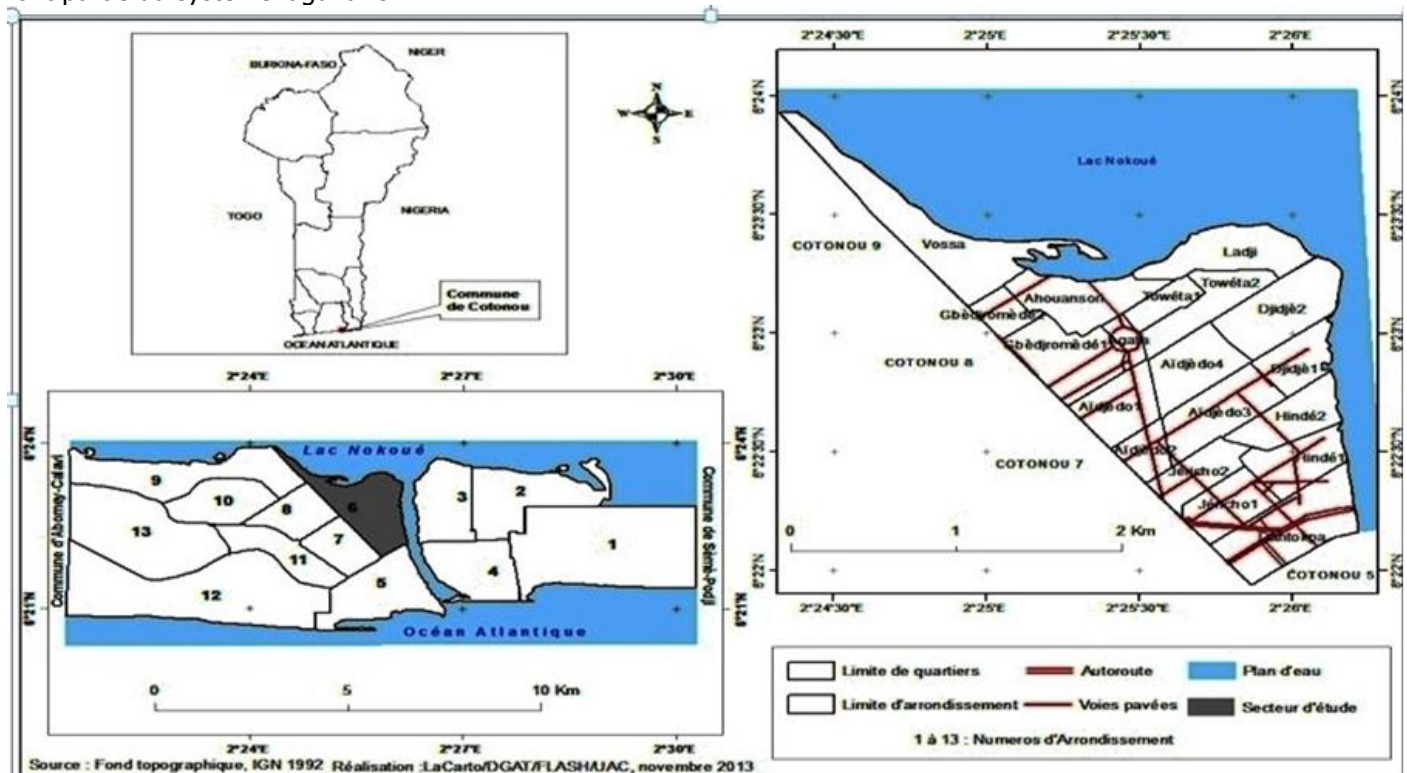
Malgré les efforts déployés au niveau international et national, l'accès à l'eau potable reste un défi mondial. Cotonou, métropole du Bénin, comme d'autres villes du pays, n'est pas épargnée par les problèmes liés à l'approvisionnement en eau potable. Ces difficultés sont plus prononcées dans les zones riveraines, telles que le 6ème arrondissement de Cotonou, objet de la présente étude. Il est constaté que, en plus de la fourniture en eau potable assurée par la SONEB, certains ménages utilisent d'autres sources d'approvisionnement peu fiables. À cela s'ajoute le manque d'hygiène, source de nombreuses maladies liées à l'eau [8].

Ainsi, la question de l'eau potable concerne chacun et devient un impératif, voire un objectif à atteindre. C'est dans cette optique que le présent travail se veut une contribution à l'amélioration de cette situation. L'objectif de cette recherche est donc de caractériser les modes d'approvisionnement en eau des populations riveraines du lac Nokoué dans le 6ème arrondissement de Cotonou.

## 2. MERIELS ET METHODES

### 2.1. Secteur d'étude

Le sixième Arrondissement (Figure 1) est situé entre 6°22' et 6°24' de latitude nord et 2°24' et 2°26' de longitude est. Il est limité au nord par le lac Nokoué, au sud par le cinquième arrondissement, à l'est par la lagune de Cotonou, et à l'ouest par le septième, huitième, et neuvième arrondissement. Cet arrondissement comprend 19 quartiers de ville, à savoir : Aidjèdo 1, 2, 3, et 4, Agata, Towéta 1 et 2, Gbèdjomèdè 1 et 2, Ladj, Tokpa, Hindé 1 et 2, Jéricho 1 et 2, Agué, Vossa, Djidjè 1 et 2. Selon le Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2013, il se trouve dans la zone périphérique de Cotonou. Ses marécages communiquent avec la lagune selon leur profondeur et font partie du système lagunaire.



**Figure 1** : Situation géographique du 6ème Arrondissement de Cotonou.

Le 6ème arrondissement, accueilli par la ville, se situe dans la zone côtière et est caractérisé par deux saisons de pluies et deux saisons sèches. Les pluies surviennent principalement entre mars et juillet, avec un pic entre 300 mm et 500 mm en juin, réparties en moyenne sur 80 à 120 jours. Hydrologiquement, le lac Nokoué et la lagune sont les plans d'eau importants influençant les activités humaines dans cette zone d'étude. Le lac Nokoué est le cours d'eau le plus important de l'arrondissement, couvrant une superficie de 150 km<sup>2</sup> en période d'étiage, avec une profondeur moyenne de 1,5 m.

En plus des caractéristiques géographiques et climatiques, il est à noter que le 6<sup>ème</sup> arrondissement est densément peuplé, avec une diversité d'activités socio-économiques. Cette diversité démographique et économique peut avoir des implications sur les schémas d'utilisation de l'eau et les pratiques d'assainissement.

## 2.2. Données et Méthodes

Les données utilisées dans le cadre de cette recherche comprennent des données climatologiques (hauteurs de pluie) de 1965 à 2020 de la station de Cotonou, extraites des fichiers de Météo-Bénin ; des données épidémiologiques ou sanitaires enregistrées dans les centres de santé du 6<sup>ème</sup> Arrondissement de Cotonou de 2016 à 2019 ; et les différentes sources d'approvisionnement en eau dans le 6<sup>ème</sup> Arrondissement de Cotonou (eau de la SONEB, forage motorisé, eau de puits, eau de surface) collectées sur le terrain.

Pour renforcer la robustesse scientifique de l'étude, des données historiques sur la qualité de l'eau du lac et de la lagune, couvrant des paramètres tels que la contamination microbienne et la composition chimique, ont également été prises en compte. Ces données supplémentaires offrent une compréhension plus complète des risques potentiels pour la santé associée à différentes sources d'eau.

## 2.3. Outils de Collecte de Données

Plusieurs outils ont été utilisés pour la collecte de données :

- **Questionnaires d'enquêtes** : Deux types de questionnaires ont été administrés : l'un adressé à la population, l'autre au centre de santé du 6<sup>ème</sup> arrondissement.
- **Grille d'observation** : Conçue pour faciliter l'observation des points d'eau, la couverture ou non des puits, les contenants de stockage et de conservation ainsi que les conditions de collecte. Elle a évalué le niveau d'assainissement environnemental.
- **Guide d'entretien** : Fournissait des informations sur les sources d'approvisionnement en eau, les problèmes associés, les maladies prévalentes dans la région et leurs taux de prévalence, ainsi que les mesures prises pour garantir la qualité de l'eau.

## 2.4. Travaux de Terrain

- **Observation directe** : Réalisée pour comprendre réellement les problèmes d'approvisionnement en eau dans l'environnement.
- **Enquête par questionnaire** : Les entretiens de groupe cible ou les groupes de discussion ont été des étapes cruciales, fournissant les opinions de la population sur les méthodes d'approvisionnement en eau dans l'arrondissement. Des centres de santé ont été visités pour recueillir des données sanitaires substantielles.
- **Échantillonnage** : L'échantillonnage a permis de mener des investigations sur le terrain. Les véritables acteurs concernés par les méthodes d'approvisionnement en eau sont la population, suivie des responsables des infrastructures hydrauliques et des autorités locales. Pour couvrir de manière exhaustive le secteur d'étude, les enquêtes ont eu lieu dans cinq (05) quartiers dudit arrondissement. La taille de l'échantillon a été déterminée en suivant la méthode de Schwartz (2002), exprimée comme suit :

$$N = Z_{\alpha}^2 \times PQ/d^2 \quad (1)$$

Avec :

**N** = taille de l'échantillon par quartier ;

**Z<sub>α</sub>** = 1,96 Ecart fixé à 1, 96 correspondants à un degré de confiance de 95 % ;

**P** = nombre de ménages de l'arrondissement par nombre de ménage de la commune ;

**Q** = 1- P ;

**d** = marge d'erreur qui est égale à 5 %. Ainsi, la répartition de la taille des ménages interrogés par arrondissement est consignée dans le tableau 1.

**Tableau 1** : Taille de l'effectif de la population enquêtée

Quartiers	Nombre de ménage par quartier	Echantillon	Proportion
<b>Aidjedo 2</b>	505	43	8,51%
<b>Vossa</b>	332	30	9,036%
<b>Hindé2</b>	915	79	8,63%
<b>Toweta 2</b>	847	74	8,73%
<b>Ladji</b>	1352	113	8,35%
<b>TOTAL</b>	3951	339	43,256%

(Source : INSAE, RGPH<sub>4</sub>, 2013)

De l'analyse du tableau il ressort que sur 100% des populations, 50% de la population sont enquêtées dans chaque quartier.

### 2.2.3. Méthodes de traitement des données et d'analyse des résultats

Les données recueillies ont été soumises à un traitement approfondi en vue d'une analyse visant à dégager des solutions pertinentes. Le processus de traitement des données comprend une étape automatique suivant le dépouillement manuel et la codification des fiches. Cette opération a été effectuée à l'aide d'un micro-ordinateur, utilisant des logiciels tels que SPSS et Excel 2016 pour la création de tableaux et l'analyse statistique des données. Les résultats issus du dépouillement des fiches d'enquêtes ainsi que des guides d'observation ont été intégrés à cette analyse.

La méthodologie adoptée s'inscrit dans le cadre du modèle d'analyse SWOT (Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces), permettant d'identifier les points forts, les faiblesses, les opportunités, et les menaces du système d'approvisionnement en eau du 6<sup>ème</sup> arrondissement. L'ensemble de cette démarche méthodologique a conduit à l'obtention des résultats suivants.

## 3. RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1. Sources d'approvisionnement en eau des populations du 6<sup>ème</sup> arrondissement de Cotonou

Pour satisfaire leur besoin en eau, la population du 6<sup>ème</sup> arrondissement de Cotonou s'approvisionne en eau de puits, en eau de forage, en eau de la SONEB, et en eau de surface.

**3.1.1 Puits traditionnels :** Un puits est un ouvrage de captage de l'eau souterraine de diamètre variant généralement de 1 à 1,8 mètre. La profondeur des puits traditionnels rencontrés dans la zone d'étude varie selon son rapprochement du lac. Par exemple dans le quartier de Ladj, les puits sont très peu profonds et captent la nappe phréatique à moins de trois mètres de profondeur dans les sols hydromorphes très inondables.



(Planche 1 : Puits traditionnels à Ladj (a) et à Vossa (b)) *Prise de vue : Houessou, (novembre, 2019)*

Les parois de ses puits sont généralement ouvertes ou juste revêtue par les tôles ou encore un ciment non armé peu épais. Selon les personnes enquêtées, 65 % de ménages utilisent pour la plupart pour leur besoin d'eau, l'eau de puits traditionnels. Mais il faut retenir que cette eau est utilisée à des fins diverses selon un ménage à un autre. Aussi, en dehors des traitements périodiques effectués par l'Etat très peu de ménages prennent l'initiative de traiter eux-mêmes leur puits. La planche 1 ci-dessus présente les puits traditionnels.

**3.1.2. Forages :** Ce sont des ouvrages de petit diamètre (supérieur ou égal à 4pouces) destinés à capter des aquifères profonds. Il est équipé d'un tubage et d'une superstructure, et est prévu pour recevoir un dispositif de pompage. Lors de nos enquêtes dans ladite zone, nous avons constatés très peu d'installations de forage, voir quasi inexistant. Malgré les dispositifs d'un forage pour préserver la qualité de l'eau, dans le 6<sup>ème</sup> arrondissement, l'eau est toutefois de mauvaise qualité à contamination de la nappe phréatique et du rapprochement de cette dernière au sol. Les quelques ménages utilisant l'eau de forage affirment qu'elle est aussi utilisée à de diverses fins à exception d'en faire une eau de boisson. La planche 2 présente les forages perçus sur le site.



**Planche 2** : Forage à Aidjèdo (a) et à Hindé (b). **Prise de vue** : Houessou (novembre, 2019).

Les photos (a) et (b) de la planche 2 représente respectivement un forage motorisé à Aidjèdo et un puits traditionnel convertit en forage à Hindé. Les techniques et moyens utilisés dans la réalisation du forage dépendent essentiellement de la profondeur de la nappe aquifère. Par exemple, il est difficile ou dangereux de faire creuser un puits avec des moyens traditionnels à plus de 30 mètres de profondeur.

**3.1.3. Eau de SONEB** : Prélevée à une profondeur variant de 100 à 150 mètres, l'eau de la SONEB est pompée par des pompes immergées à partir des puits forés et acheminée depuis sa source vers les stations de traitement. Diverses méthodes sont alors employées en fonction de la nature physico-chimique et des composantes bactériologiques identifiées, impliquant notamment un traitement au chlore pour garantir sa désinfection. Il peut arriver que l'eau brute contienne des éléments en excès, tels que le gaz carbonique, nécessitant alors des traitements de dégazage et de neutralisation à la chaux.

Après ces procédures de traitement, l'eau est conduite à travers les réseaux de distribution de la SONEB, auxquels les abonnés sont individuellement raccordés. Selon les enquêtes menées dans la zone d'étude, seulement 15% des ménages sont effectivement abonnés à l'eau fournie par la SONEB, la plupart des foyers préférant s'en procurer indépendamment. La planche 3 illustre les réseaux d'eau de la SONEB chez quelques abonnés.



**Planche 3** : Pompe de la SONEB à Aidjèdo (a) et eau de la SONEB stockée à Toweta 2 (b)  
**Prise de vue** : Houessou (novembre, 2019)

L'eau de la SONEB est utilisée à des fins personnelles des abonnés. Pourtant des raisons de coupure inopinée et de commercialisation de l'eau de la SONEB aux non abonnés, certains abonnés procèdent au stockage. Le commerce de l'eau de la SONEB par certains abonnés constitue une activité dans ledit arrondissement.

**3.1.4. Eau de surface** : Délimité au nord par le lac Nokoué, le 6<sup>e</sup> arrondissement s'étend sur un site marécageux inscrit dans les dépressions du lac Nokoué. Bien que la plupart des personnes interrogées le long du lac nient l'utilisation de son eau, certains ménages, particulièrement ceux résidant le long et sur le lac, l'emploient à divers usages tels que la lessive, la vaisselle, voire même comme eau potable. Comme le témoigne une personne interrogée à Ladjì : « Certaines femmes, à l'aide d'une pirogue, vont chercher de l'eau au beau milieu du lac pour leurs besoins, car l'eau du lac est propre à cet endroit. »

Cependant, cette source d'approvisionnement, le lac Nokoué, est contaminée par des déchets de toutes sortes, la rendant ainsi impropre à la consommation. La photo ci-jointe illustre l'état actuel du lac Nokoué.



**Planche 4** : Eau de surface à vossa(a) et à Ladji (b)  
(Prise de vue : Houessou, novembre, 2019)

Au cours des enquêtes, comme le dépeint la photo (a), on peut constater l'état insalubre et pollué du lac, mettant ainsi en lumière le danger auquel sont exposés les ménages qui consomment cette eau de surface. En revanche, la photo (b) montre une petite fille riveraine surprise en train de s'approvisionner en eau du lac Nokoué, fournissant ainsi la preuve que cette eau polluée est bel et bien utilisée par certains ménages.

### 3.2. Modes de transport et de conservation de l'eau

La qualité de l'eau utilisée par la population du 6<sup>ème</sup> arrondissement ne dépende pas que de la source mais aussi des modes de transport et de conservation.

**3.2.1. Modes de transport de l'eau** : Il est constaté dans la plupart des zones enquêtées que les différents points d'eau rencontrés qu'il soit eau de puits, eau du forage ou eau de la SONEB laisse à désirer à cause d'un manque d'hygiène et d'assainissement. Aussi, les différents récipients utilisés par les ménages pour transporter l'eau de la source à la maison sont divers. La planche 4 présente quelques moyens de transport utilisés dans ladite zone.



**Planche 5** : Transport de l'eau dans un bidon et dans une bassine.  
(Prise de vue : Houessou, novembre 2019)

L'eau est prélevée dans des bassines et dans les bidons et est transporté à pied. Les récipients utilisés pour son acheminement sont couverts ou non. C'est ce que montre la planche 4. Il ressort des entretiens avec les personnes questionnées que ces récipients ne sont pas toujours propres à être utilisés. C'est le cas des bidons en plastiques qui sont à laver.

**3.2.2. Modes de conservation de l'eau** : Après le transport de l'eau, plusieurs moyens sont utilisés pour sa conservation une fois au domicile. Très souvent l'eau de boisson est conservée dans des jarres, des bassines, des tonneaux, des bidons. Lors des enquêtes, la plupart des ménages ne permettent pas d'accéder à leurs modes de conservation de l'eau du fait qu'il estime que cela relève de leur intimité. Toute fois un aperçu de quelques récipients dans leurs maisons amènent à conclure que certains sont couverts et d'autres ne le sont pas. D'après les résultats obtenus des enquêtes, il ressort que peu de ménages entretiennent régulièrement leurs récipients de stockage et les couvrent hermétiquement (soit 24 %). La planche ci-après nous permet de faire quelques observations des modes de conservations dans les ménages.



**Planche 6** : Mode de conservation à Hindé (a) et à Ladji(b)  
(Prise de vue : Houessou, novembre 2019)

Comme l'illustre la planche 6, tous les moyens sont bons pour conserver l'eau. Sur la photo (a), on peut observer que le récipient de stockage est hermétiquement fermé, assurant ainsi une protection adéquate. En revanche, sur la photo (b), les récipients utilisés par ce ménage ne sont pas couverts, exposant l'eau à la poussière. Ce ménage court un risque significatif de contracter des maladies liées à l'eau.

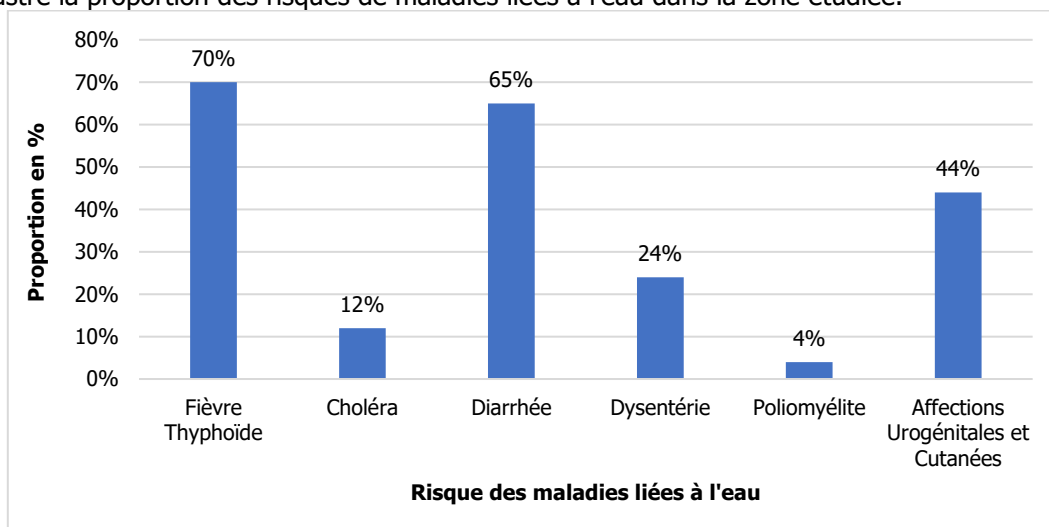
### 3.3. Maladies liées à la consommation de l'eau

Les maladies hydriques, également connues comme maladies liées à la consommation d'eau, tirent leur appellation du fait qu'elles sont déclenchées par l'ingestion ou le contact avec des eaux non salubres. Ces eaux non potables servent de vecteurs à divers micro-organismes tels que les bactéries, les eucaryotes, les virus, ainsi que des contaminants tels que le plomb et les pesticides, entraînant des troubles et des pathologies potentiellement mortelles.

Parmi les maladies hydriques les plus fréquentes, on retrouve le choléra, la dysenterie, la fièvre typhoïde, la poliomyélite, les hépatites A et E, la diarrhée, la bilharziose, les affections urogénitales et cutanées, ainsi que les mycoses de pied. Les enquêtes menées dans le 6<sup>e</sup> arrondissement de Cotonou révèlent que les habitants souffrent de maladies liées à l'eau, résultant de la consommation d'eau contaminée, d'aliments contaminés par l'eau, ou de la manipulation d'aliments avec des mains souillées. Il s'agit essentiellement de maladies d'origine fécale.

En outre, certaines maladies hydriques sont transmises par voie transcutanée, impliquant la pénétration de larves de parasites et de microbes dans la peau. Bien que non abordées dans cette recherche, il convient de mentionner des maladies hydriques à transmission vectorielle, telles que le paludisme, qui se propagent par un mécanisme indirect impliquant des vecteurs.

La figure 3 illustre la proportion des risques de maladies liées à l'eau dans la zone étudiée.



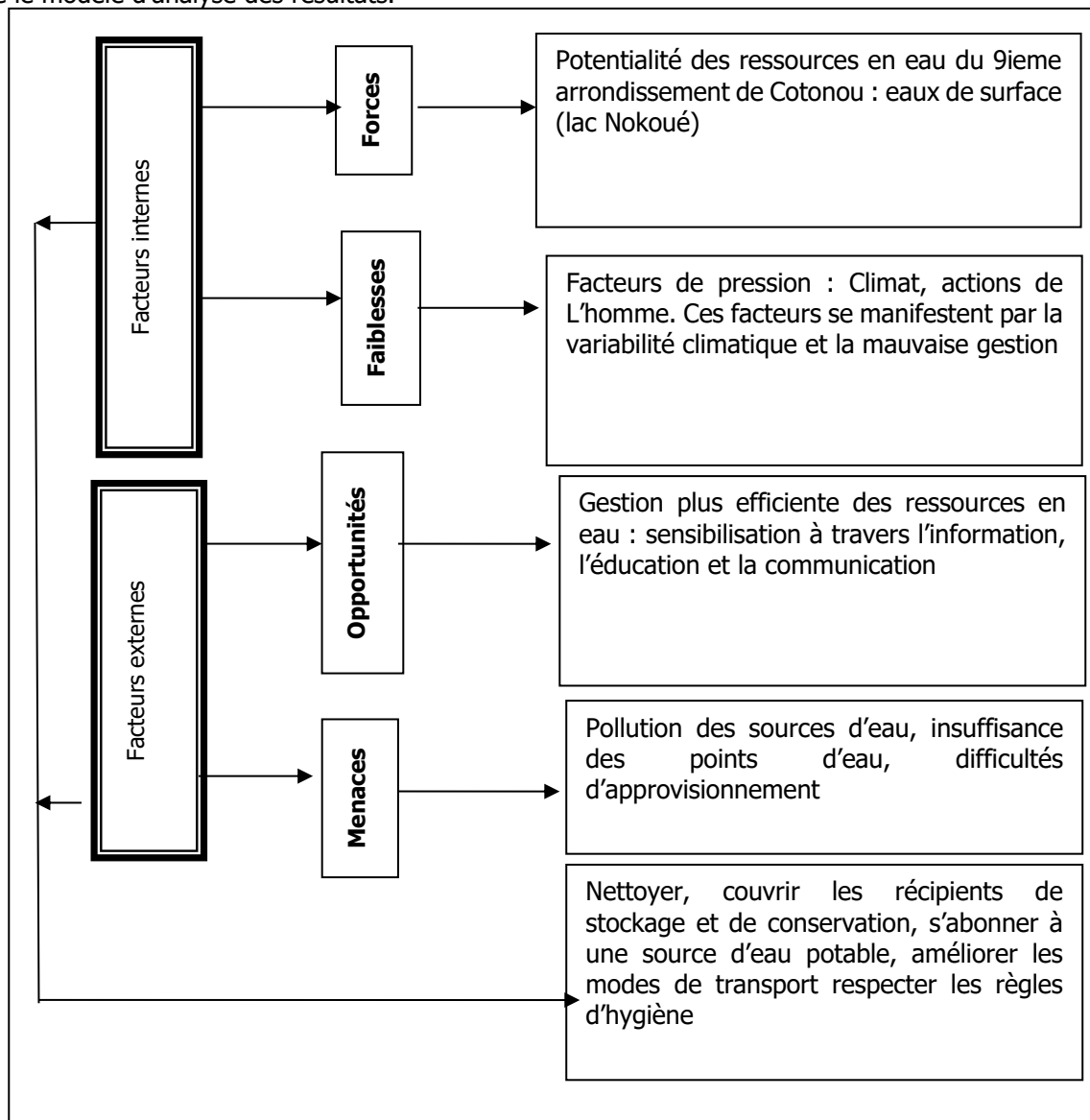
**Figure 3** : la proportion des risques de maladies liées à l'eau dans le 6<sup>ème</sup> Arrondissement de Cotonou. (Source : Centre de santé du 6<sup>ème</sup> arrondissement et travaux de terrain, novembre 2019).

D'après l'examen de la figure 3, il est évident que les risques de maladies liées à l'eau dans le 6<sup>e</sup> arrondissement de Cotonou incluent principalement la fièvre typhoïde (70 %), le choléra (12 %), la diarrhée (65 %), la dysenterie (24 %), la poliomyélite (4 %), ainsi que les affections urogénitales et cutanées (44 %).



### 3.4. Analyse diagnostique des modes d'approvisionnement en eau des populations riveraines du lac Nokoué

L'analyse des modes d'approvisionnement a été réalisée grâce au modèle SWOT, permettant ainsi d'établir un inventaire des sources d'approvisionnement en eau, d'identifier les divers problèmes liés à l'approvisionnement en eau, d'évaluer leurs impacts sur la santé, et de proposer des mesures visant à améliorer les conditions d'approvisionnement. La figure 4 représente le modèle d'analyse des résultats.



**Figure 4** : Analyse diagnostique des résultats grâce au modèle SWOT. (Source : Résultats d'enquêtes de terrain, 2019).

Suite à l'analyse de cette figure, il apparaît clairement que les facteurs internes tels que le climat, la disponibilité des ressources en eau, et l'action de l'homme constituent les forces motrices du système d'approvisionnement en eau dans le 6<sup>e</sup> arrondissement. Les problèmes d'approvisionnement en eau dans cette zone découlent de l'insuffisance d'eau potable, de la médiocre qualité de l'eau de boisson, et de l'absence d'aménagement des ressources en eau.

## 4. CONCLUSION

L'eau occupe une place cruciale dans tout mode de vie actif. Bien que présente en abondance, sa qualité demeure indispensable pour la consommation. Dans le 6<sup>e</sup> arrondissement de Cotonou, objet de notre étude, les quartiers précaires abritent des résidents aux revenus modestes, confrontés à des défis d'accessibilité à l'eau potable. Cette réalité est en contradiction avec l'objectif des organisations internationales, qui aspirent à garantir à chaque individu, indépendamment de ses conditions de vie ou de ses ressources, le droit à une eau saine.

Les habitants de cette localité se voient contraints de s'approvisionner à diverses sources d'eau, souvent de qualité médiocre. Les modes de transport et de conservation de l'eau constituent également des facteurs de risque, pouvant altérer la qualité de l'eau potable même si elle est sûre à la source, en raison de l'introduction d'agents pathogènes lors

du transport et du stockage. Les analyses et résultats obtenus quant à la qualité de l'eau dans le 6<sup>e</sup> arrondissement révèlent l'existence de risques concrets de maladies.

En effet, les habitants de cette localité consomment de l'eau contaminée sans pleinement prendre conscience des risques encourus. De plus, ils ne disposent pas des moyens nécessaires pour accéder à l'eau de la SONEB, réputée être de meilleure qualité que d'autres sources disponibles.

Il incombe aux autorités de prendre conscience de l'importance de préserver la santé des populations en organisant régulièrement des séances de sensibilisation et d'éducation sur l'hygiène, l'assainissement du cadre de vie, ainsi que la construction et le traitement des ouvrages hydrauliques. Assurer l'accès de l'ensemble de la population de cet arrondissement à une eau de qualité exige une série d'actions, notamment la prévention des risques de contamination lors du transport et de la conservation de l'eau, l'amélioration des conditions sociales et économiques, l'assainissement des abords du lac, et la facilitation des conditions d'abonnement à l'eau de la SONEB par les autorités compétentes.

Chaque individu a également un rôle à jouer en imposant une rigueur dans l'assainissement et l'hygiène de son environnement, ainsi que dans l'approvisionnement en eau de consommation, contribuant ainsi à minimiser les risques de maladies liées à l'eau.

## 5. REFERENCES

1. SALL M. Family farm operations in the face of agricultural and climatic risks: developed strategies and agricultural insurance [dissertation]. Toulouse: University of Toulouse; 2015. 277p.
2. Dubreuil C. The Right to Water. 2010. p. 1-3.
3. Hassan A. The United Nations and the global water problem: Essay on UN-Water; 2008. 17p.
4. UNEP. Africa Water Atlas 2010. 19p.
5. WHO-UNICEF. Achieving the Millennium Development Goal on Drinking Water and Sanitation: The Urban and Rural Challenge of the Decade. 2007. 9p.
6. Papa N. Household drinking water quality: analysis and action plan in rural Senegalese areas. *Public Health*. 2010;22(2):193-200.
7. Dieng M. Participatory Geographic Information Systems (PGIS) in the management of natural resources and food security in Africa. 2011. 2p.
8. Odoulami L. The issue of drinking water and human health in the city of Cotonou (Republic of Benin) [dissertation]. Cotonou: University of Abomey-Calavi; 2009. p. 14-15.



How to cite this article: **Satognon Florent HOUSSOU**. CARACTERISATION DES MODES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DES POPULATIONS RIVERAINES DU LAC NOKOUE DANS LE 6<sup>ième</sup> ARRONDISSEMENT DE COTONOU AU BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4): 285-293. DOI: 10.5281/zenodo.10019346

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## ÉVALUATION DE LA CONTAMINATION DE L'EAU DE SOURCE PAR DES POLLUANTS ENVIRONNEMENTAUX : CAS D'AMBOHIDRAMASY, QUARTIER AMBATOHARANANA, MADAGASCAR



ASSESSMENT OF CONTAMINATION OF SPRING WATER BY ENVIRONMENTAL POLLUTANTS: THE CASE OF AMBOHIDRAMASY, AMBATOHARANANA DISTRICT, MADAGASCAR

| Andry Harinaina, Rabearisoa <sup>1\*</sup> | Nalinirina Tantely, Rabemifara <sup>1</sup> | Bertrand, Manjolongo <sup>1</sup> | Sarobidy Placide, Randriamanantena <sup>1</sup> | Viviane, Harinandrasana <sup>1</sup> | Ravo Victoire, Nasolomampionona <sup>1</sup> | Hajdrainy, Rabearisoa <sup>1</sup> | Mbolanirina Mamisoa, Rabemifara <sup>1</sup> | Bruno, Razanamparany <sup>2</sup> | Nasolo Sedravola, Randimbarison <sup>3</sup> | et | Lazanirina Henintsoa, Rabemifara <sup>4</sup> |

<sup>1</sup> Université de Fianarantsoa | Ecole Normale Supérieure : Sciences et technologies | Fianarantsoa | Madagascar

<sup>2</sup> Université d'Antananarivo | Ingénierie en Sciences et Techniques de l'eau | laboratoire de Chimie de la faculté des sciences | Antananarivo | Madagascar |

<sup>3</sup> Université de Fianarantsoa | Faculté des Lettres et Sciences Humaines | Fianarantsoa | Madagascar |

<sup>4</sup> Rédacteur et consultant SEO expert en marketing digital | Tamatave | Madagascar |

| DOI: 10.5281/zenodo.10030574 | Received September 17, 2023 | Accepted October 20, 2023 | Published October 22, 2023 | ID Article | Satognon-Ref4-4-17ajiras181023 |

### RESUME

**Introduction** : L'eau de source est une ressource naturelle en eau dont la source est considérée comme de l'eau douce, provenant bien entendu des eaux souterraines non contaminées. De plus, compte tenu du défi majeur que représente l'accès à l'eau potable pour la majorité des pays en développement, l'eau de source est considérée comme une aubaine en raison de son accès facile et de son faible besoin d'investissement. **Objectifs** : Des études ont été menées pour analyser les pollutions potentielles provenant de l'environnement et liées aux caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de source en surface. À cette fin, vingt échantillons d'eau de source ont été collectés dans des bouteilles en plastique polyéthylène et transportés au laboratoire dans une glacière à une température de 6°C. **Méthodes** : Les échantillons collectés ont été analysés dans les laboratoires de chimie de la faculté des sciences et du Centre National de Recherches sur l'Environnement. Les paramètres tels que la température et le pH ont été mesurés in situ, tandis que d'autres paramètres tels que la conductivité électrique, les solides totaux dissous (TDS), la turbidité, la DBO5, les chlorures, les coliformes totaux (CT), ainsi que les streptocoques fécaux (SF), ont été évalués. Une analyse en composantes principales a également été réalisée à l'aide du logiciel SPSS version 23 dans le but de rechercher d'éventuelles corrélations. **Résultats** : Les résultats de l'analyse ont révélé que les eaux de source sont effectivement polluées par l'environnement. Elles présentent une acidité (pH = 5,3) due à l'acidité du sol résultant de la production de dioxyde de carbone lors de la décomposition des matières végétales. La turbidité (4,27 NTU), la DBO (1,02 mg/L) et la teneur en chlorure (67,93 mg/L) témoignent de la pollution chimique de l'eau, tandis que les niveaux de coliformes totaux (4ufc/100mL) et de streptocoques fécaux (8ufc/100mL) indiquent une pollution d'origine microbienne. **Conclusion** : Les eaux de source se révèlent polluées en raison des activités humaines telles que l'utilisation d'engrais chimiques dans les champs de culture, ainsi que des phénomènes naturels survenant lors de la période pluvieuse, notamment l'érosion des sols.

**Mots-clés** : Eau de source, pollution environnementale, physico-chimique, microbiologie, analyse multivariée.

### ABSTRACT

**Introduction**: Springwater is a natural freshwater resource originating from uncontaminated underground sources. Moreover, given the significant challenge of accessing clean water in most developing countries, springwater is considered a blessing due to its easy accessibility and minimal investment requirements. **Objectives**: Studies have been conducted to analyze potential environmental pollution related to the physico-chemical and bacteriological characteristics of surface springwater. To achieve this, twenty samples of springwater were collected in polyethylene plastic bottles and transported to the laboratory in a cooler at a temperature of 6°C. **Methods**: The collected samples were analyzed in the chemistry laboratories of the Faculty of Sciences and the National Center for Environmental Research. Parameters such as temperature and pH were measured in situ, while other parameters such as electrical conductivity, total dissolved solids (TDS), turbidity, BOD5, chlorides, total coliforms (TC), as well as fecal streptococci (FS), were assessed. Principal component analysis was also performed using SPSS version 23 to explore possible correlations. **Results**: The analysis results revealed that springwaters are indeed contaminated by the environment. They exhibit acidity (pH = 5.3) due to soil acidity resulting from the production of carbon dioxide during the decomposition of plant materials. Turbidity (4.27 NTU), BOD (1.02 mg/L), and chloride content (67.93 mg/L) indicate chemical pollution of the water, while levels of total coliforms (4 CFU/100mL) and fecal streptococci (8 CFU/100mL) indicate microbial pollution. **Conclusion**: Springwaters are found to be polluted due to human activities such as the use of chemical fertilizers in agricultural fields, as well as natural phenomena occurring during the rainy season, notably soil erosion.

**Keywords** : Source water, environmental pollution, physicochemical, microbiology, multivariate analysis.

## 1. INTRODUCTION

L'eau de source est une précieuse ressource naturelle, catégorisée comme de l'eau douce [1], dont l'origine est incontestablement une nappe d'eau souterraine non contaminée. L'accès à des sources d'eau douce, telles que l'eau de source, revêt une importance cruciale pour la survie humaine et constitue le fondement de toute forme de vie. Bien que certains organismes élémentaires puissent survivre sans air, aucun d'entre eux ne peut prospérer sans eau.

À Madagascar, l'accès à l'eau potable demeure un défi majeur pour le gouvernement, avec une situation particulièrement préoccupante. En moyenne, seulement 41 % de la population a accès à l'eau potable, à des services d'assainissement, et à des conditions d'hygiène adéquates [2]. En 2019, seuls 23 % de la population Malagasy auraient eu accès à cette ressource vitale [3]. Le manque d'accès à des sources d'eau potable contraint les habitants d'Ambohidramasy à consommer de l'eau de source souterraine située à proximité du Fokontany.

Cependant, cette ressource naturelle, localisée à proximité de zones de culture telles que les plantations de bananes et les rizières, est souvent exposée à une pollution provenant de déchets agricoles [4], tels que des débris animaux et des débris végétaux. Ces contaminants chimiques et organiques sont susceptibles de contaminer l'eau de source en raison des caractéristiques des sols à travers lesquels ils se propagent. Cette forme de pollution se manifeste généralement par la présence de micro-organismes et de substances chimiques.

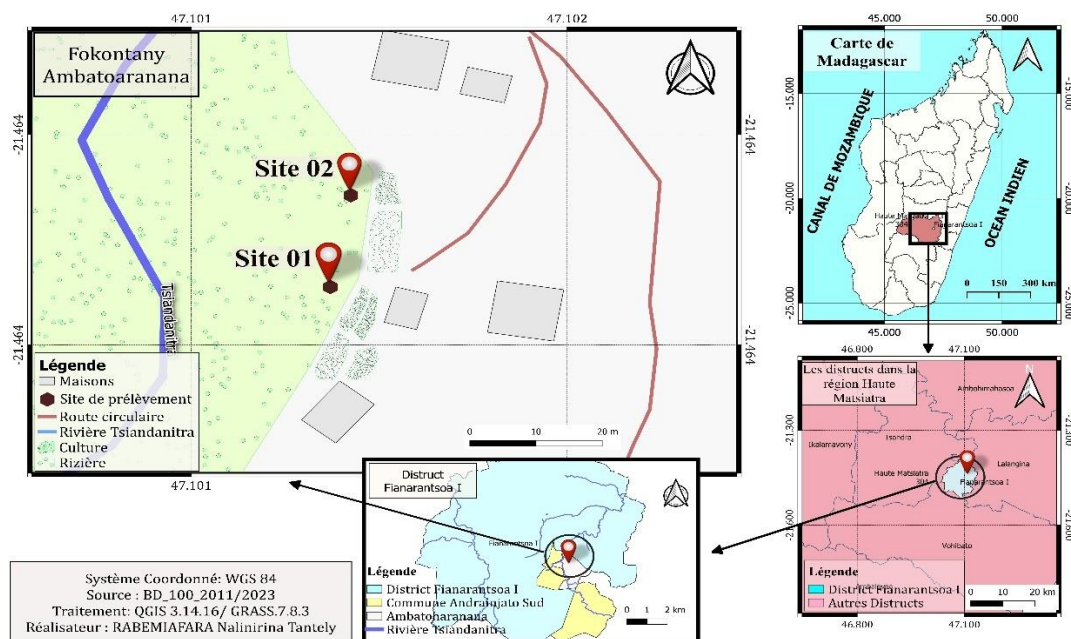
Ces substances polluantes s'infiltrent dans le sol jusqu'à atteindre la nappe phréatique [5] ou sont accidentellement rejetées dans celle-ci. De plus, pendant la saison des pluies, les eaux de ruissellement traversent les sols et emportent avec elles des déchets jusqu'aux sources d'eau. Par conséquent, ces déchets, ainsi que les composants caractéristiques des sols entraînés dans l'eau, rendraient cette dernière impropre à la consommation humaine.

L'objectif de cette étude est d'analyser les pollutions environnementales de l'eau de source dans le cas d'Ambatoharanana. Cette analyse repose sur des analyses approfondies des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des échantillons d'eau, ainsi que sur les paramètres de pH, de conductivité électrique, et de texture des échantillons de sol. L'analyse en composantes principales fait également partie des méthodes utilisées dans le cadre de cette recherche, dans le but d'analyser les diverses formes de pollution, qu'elles soient d'origine chimique, biologique, ou atmosphérique, et susceptibles d'affecter la qualité de l'eau.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1 Présentation des sites de prélèvement

Le Fokontany d'Ambatoharanana est localisé dans le district de Fianarantsoa I, dans la région de Haute Matsiatra, et dans la province de Fianarantsoa à Madagascar. Conformément à la Figure 1, les sites de prélèvement dans ce Fokontany se situent entre les longitudes Est 47.101 et 47.102, ainsi qu'à la latitude Sud -21.264. Ces emplacements sont à proximité de divers champs cultivés tels que la riziculture, les champs de bambou, les champs de patates douces et les champs de bananes (cf. Figure 2). Ces points d'eau provenant de sources sont habituellement exploités dans le Fokontany à des fins de consommation et d'irrigation agricole.



**Figure 1 :** Localisation de la zone d'étude et des sites de prélèvement



**Figure 2** : Présentation des sites de prélèvement

## 2.2 Echantillonnage

Vingt échantillons d'eau de source ont été prélevés à Ambatoharanana en utilisant des coordonnées géographiques précises. Au cours de cette campagne, les échantillons d'eau ont été collectés à deux sites, S1 et S2, puis placés dans des bouteilles en plastique polyéthylène d'une capacité de 1 litre. Préalablement, ces bouteilles ont été soigneusement nettoyées avec du nickel, suivi d'un rinçage à l'eau du robinet, subissant trois à quatre rinçages avant le prélèvement. Les échantillons ont été recueillis en plaçant les flacons sous la surface de l'eau, veillant à les remplir avec précaution jusqu'au bord. Ensuite, ils ont été transportés au laboratoire dans une glacière maintenue à une température de 6°C. Avant l'analyse, les échantillons ont été conservés dans un réfrigérateur à 4°C.

Quant aux échantillons de sol, ils ont été prélevés manuellement à l'aide de gants en polyéthylène, depuis le fond de l'eau. Par la suite, ils ont été déposés dans des bocaux en verre hermétiques afin d'éviter toute interaction avec l'atmosphère. Ces échantillons ont été transportés dans une glacière sans glace, séchés à l'abri du soleil pendant 48 heures, puis préservés dans des sachets plastiques hermétiques au laboratoire.

## 2.2 Analyses physico-chimiques

Lors des prélèvements, les paramètres physiques de l'eau, tels que le pH et la température, ont été mesurés in situ. Les instruments de terrain utilisés comprennent un thermomètre numérique de type JR-1 et un pH-mètre de type CE, avec une plage de mesure de 0,00 à 14,00 pH. Les paramètres physico-chimiques, tels que la conductivité électrique (CE), les solides totaux dissous (TDS), la turbidité, les chlorures et la DBO5, ont été analysés au laboratoire de chimie de la faculté des sciences et au Centre National de Recherche sur l'Environnement (CNRE) à Antananarivo.

Les instruments utilisés pour ces analyses comprennent un TDS&EC-mètre de marque E-1, un turbidimètre de type Palintest® et un oxymètre multiparamètre WTW 340i, utilisés respectivement pour mesurer la CE, les TDS, la turbidité et la DBO5. La DBO5 a été déterminée par incubation à l'aide d'un incubateur de type HACH. Les chlorures ont été dosés selon la méthode de Morh [6], utilisant les nitrates d'argent ( $\text{AgNO}_3$ ) de concentration  $C_{\text{AgNO}_3} = 2,09 \text{ g/L}$ , en présence de Chromate de potassium ( $2\text{KCrO}_4$ ) à 10%.

$$\text{Expression : } [\text{NaCl}](\text{mg/L}) = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \times [\text{AgNO}_3] \times M_{\text{NaCl}} \times 1000}{M_{\text{AgNO}_3} \times V_{\text{ech}}} \quad (1)$$

$$[\text{Cl}^-](\text{mg/L}) = [\text{NaCl}] \times \frac{35,5}{58,5} \quad (2)$$

$V_{\text{AgNO}_3}$  [mL] : volume équivalent de la solution titrante d' $\text{AgNO}_3$  ;

$[\text{AgNO}_3]$  [g/L] : concentration initiale de la solution titrante d' $\text{AgNO}_3$  ;

$M_{\text{NaCl}}$  [g/mol] : masse molaire de NaCl ( $M_{\text{NaCl}} = 58,5 \text{ g/mol}$ ) ;

$V_{\text{ech}}$  [mL] : volume de l'échantillon d'eau dans le bécher.

## 2.3 Analyse de sol

Dans le cadre de l'analyse du sol, notre objectif premier est de comprendre sa structure, sa capacité à retenir des éléments nutritifs, son niveau d'acidité, et sa teneur en sels minéraux, des aspects cruciaux pour l'évaluation des diverses pollutions environnementales. Afin d'atteindre ces objectifs, les paramètres tels que le pH, la conductivité électrique, et la texture du sol ont été rigoureusement analysés au laboratoire des radio-isotopes à Antananarivo, en utilisant des équipements spécialisés tels que le pH-mètre et le conductimètre.

En ce qui concerne l'analyse du pH, 5g de sol ont été minutieusement mélangés avec 12,5mL d'eau distillée, suivi d'une agitation du mélange à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 30 minutes avant la mesure. De manière similaire, la conductivité a été mesurée en utilisant un rapport de 10g de sol dans 50mL d'eau distillée.

S'agissant de l'évaluation de la texture du sol, elle révèle la proportion relative des particules en suspension de différentes tailles, notamment le sable, le limon, et l'argile. Il est pertinent de noter que la classification a été effectuée en utilisant le triangle de texture [7]. À cette fin, 200mL d'échantillon de sol ont été déposés dans un bocal à couvercle. Après l'ajout d'eau, le mélange a été vigoureusement agité deux fois pendant 3 minutes, suivi d'une période de repos de 30 minutes, avant d'être transvasé dans un bécher gradué afin de permettre une sédimentation correcte. Après une période de 4 jours, la hauteur de chaque composante a été mesurée avec une grande précision.

$$\text{Expression de résultat : } \% \text{composante} = \frac{\text{hauteur de la couche}}{\text{hauteur total}} \times 100 \quad (3)$$

## 2.4 Analyses bactériologiques

Les analyses bactériologiques ont été conduites pour l'identification et le dénombrement des streptocoques fécaux (SF) et des coliformes totaux (CT) présents dans l'eau de source, conformément aux normes ISO 9308-1:2000 pour les CT et ISO 7899-2:2000 pour les SF. La détection de ces bactéries a été réalisée par filtration de 100 mL d'eau à travers une membrane de porosité de 0,45  $\mu\text{m}$ , suivie du dépôt sur des boîtes de Pétri stériles contenant un milieu de culture spécifique à chaque groupe de micro-organismes. Les boîtes de Pétri ont été incubées pendant 24 heures à une température de 37°C.

Les milieux de culture utilisés comprennent le milieu Slanetz and Barthy pour les CT et la gélose lactosée au TTC pour les SF. Ces choix de milieux sont conformes aux recommandations standardisées pour assurer une identification précise et un développement adéquat des bactéries ciblées dans le processus analytique.

## 2.5 Traitements de données multivariées

L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour identifier les corrélations entre les paramètres étudiés. Cette méthode statistique a été choisie pour maximiser la variance des données, afin d'évaluer l'évolution de la qualité de l'eau et d'évaluer les risques de contamination. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics 23 pour les paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

## 3. RESULTATS

### 3.1 Qualité physico-chimique et bactériologiques

Les résultats des analyses physiques, chimiques, et bactériologiques, présentés dans le tableau 1, révèlent que la température de l'eau varie de 18,4°C à 23,5°C, avec une moyenne de 21,24°C. Ces valeurs respectent les normes de l'OMS, qui recommandent des températures inférieures à 25°C.

Le pH de l'eau oscille entre 5,06 et 5,48, avec une moyenne d'environ 5,3. Cependant, ces valeurs ne sont pas conformes aux normes de l'Organisation mondiale de la santé, indiquant une tendance acide de l'eau de source.

Les valeurs de conductivité électrique varient entre 50 $\mu\text{S/cm}$  et 130 $\mu\text{S/cm}$ , avec une moyenne de 75,45 $\mu\text{S/cm}$ , indiquant une faible minéralisation et restant en conformité avec les normes de l'OMS. En ce qui concerne le TDS, il varie de 24 ppm à 65 ppm, indiquant une faible concentration de solides dissous dans l'eau.

L'eau de source présente une légère turbidité, avec une moyenne de 4,27 NTU et un minimum de 0,01 NTU. Cependant, la valeur maximale (10,50 NTU) dépasse les normes de l'OMS (>5 NTU).

La faible salinité est confirmée par les faibles niveaux de chlorure, variant entre 43,68 mg/L et 131,04 mg/L, avec une moyenne de 67,92 mg/L, toutes en dessous des valeurs recommandées par l'OMS.

La DBO5 de l'eau varie de 0 à 3,56 mg/L d'oxygène, avec une moyenne de 1,018 mg/L d'oxygène, respectant les normes de l'OMS.

En ce qui concerne les coliformes totaux (CT), les valeurs ne satisfont pas aux critères de l'OMS, avec des variations entre 0 et 15 ufc/100 mL, et une moyenne de 4 ufc/100 mL. Les streptocoques fécaux (SF) varient entre 0 et 28 ufc/100 mL, avec une moyenne de 8 ufc/100 mL.

**Tableau 1 :** Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de source

	Minimum	Maximum	Moyenne	OMS
T°(°C)	18,4	23,5	21,240	25
PH	5,06	5,48	5,295	6,5-8,5
CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	50	130	75,450	3000
TDS (ppm)	24	65	39,525	-
Turbidité (NTU)	0,01	10,50	4,274	5
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	43,68	131,04	67,926	250
DBO5(mg/Ld'O2)	0	3,56	1,018	3
CT (ufc/100mL)	0	15	4	0
SF (ufc/100mL)	0	28	8	0

### 3.2 Qualité physique des sols et ses structures

Le tableau 3 présente les propriétés physiques du sol. Le pH du sol varie de 5,02 à 5,6, ce qui lui confère un caractère acide. La conductivité du sol varie entre 35 $\mu$ S/cm et 90 $\mu$ S/cm, indiquant la présence d'éléments minéraux.

**Tableau 3 :** Caractéristiques physiques du sol

	Minimum	Maximum	Moyenne
<b>PH1/2.5(m/v)</b>	5.02	5.60	5.2772
<b>CE1/5(m/v)</b>	35	90	51.35

Le tableau 4 consigne la texture du sol des sites 01 et 02. Selon le triangle de classification de la texture, ces sites sont classifiés comme sol limon argilo-sableux.

**Tableau 4 :** Présentation de la texture du sol.

Sites	Argile (0-2 $\mu$ m) %	Limon fin (2-20 $\mu$ m) %	Limon grossier (20-50 $\mu$ m) %	Sable fin (50-200 $\mu$ m) %	Sable grossier (0,2-2mm) %
<b>Site 01</b>	18,57	7,41	3,82	17,65	52,55
<b>Site 02</b>	18,11	7,76	3,36	18,23	52,53

### 3.3 Analyse statistique des paramètres physico-chimiques, bactériologiques de l'eau et caractéristiques physiques du sol

L'analyse statistique a permis d'établir des corrélations entre les paramètres étudiés. La matrice de corrélation (Tableau 5) ainsi que les matrices des coefficients des composantes (Tableau 6 et Figure 3) des différents paramètres étudiés ont révélé que la première composante principale C1 est corrélée avec la DBO5 (R = 0,886), les CT (R = 0,882), les SF (R = 0,859), le pH1/2.5 (R = 0,815), le pH (R = 0,803), et la température (R = 0,745). En d'autres termes, ces paramètres présentent des corrélations entre eux, notamment la température qui est positivement corrélée avec le pH (R = 0,736), la DBO5 (R = 0,577), les CT (R = 0,548), les SF (R = 0,513), et le pH1/2.5 (R = 0,630).

Le pH est également corrélé avec la DBO5 (R = 0,592), les CT (R = 0,539), les SF (R = 0,510), et le pH1/2.5 (R = 0,794). La corrélation entre la DBO5 et les CT (R = 0,973), les SF (R = 0,977), et le pH1/2.5 (R = 0,561) est également observée dans la matrice de corrélation. En outre, le pH1/2.5 est corrélé avec les SF (R = 0,551).

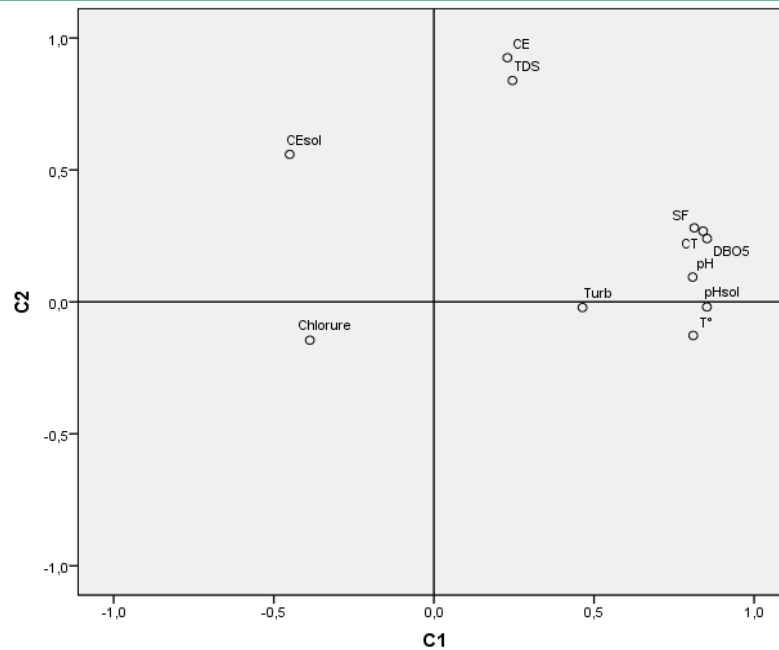
Quant à la deuxième composante principale C2, elle est corrélée avec la CE (R = 0,828), les TDS (R = 0,740), et la CE1/5 (R = 0,661). De plus, une forte corrélation est observée entre la CE et les TDS (R = 0,939).

**Tableau 5 :** Matrice de corrélation.

	T°	PH	CE	TDS	Turb	Cl <sup>-</sup>	DBO5	CT	SF	PH1/2.5	CE1/5
<b>T°(°C)</b>	1,00										
<b>Ph</b>	<b>0,736</b>	1,00									
<b>CE (<math>\mu</math>S/cm)</b>	0,123	0,269	1,00								
<b>TDS (ppm)</b>	0,202	0,340	<b>0,939</b>	1,00							
<b>Turbidité (NTU)</b>	0,279	0,343	0,127	0,181	1,00						
<b>Cl<sup>-</sup>(mg/L)</b>	-0,162	-0,296	-0,229	-0,269	-0,143	1,00					
<b>DBO5(mg/Ld'O)</b>	<b>0,577</b>	<b>0,592</b>	0,332	0,240	0,296	-0,228	1,00				
<b>CT (ufc/100mL)</b>	<b>0,548</b>	<b>0,539</b>	0,360	0,244	0,267	-0,238	<b>0,973</b>	1,00			
<b>SF (ufc/100mL)</b>	<b>0,513</b>	<b>0,510</b>	0,354	0,228	0,254	-0,221	<b>0,977</b>	<b>0,995</b>	1,00		
<b>PH1/2.5(m/v)</b>	<b>0,630</b>	<b>0,794</b>	0,210	0,277	0,385	-0,426	<b>0,561</b>	<b>0,596</b>	<b>0,551</b>	1,00	
<b>CE1/5(m/v)</b>	-0,467	-0,208	0,239	0,101	-0,239	0,232	-0,118	-0,092	-0,053	-0,430	1,00

**Tableau 6 :** Matrice des coefficients des composantes

	Composante	
	1	2
<b>DBO5(mg/Ld'O2)</b>	0,886	-0,002
<b>CT (ufc/100mL)</b>	0,882	0,029
<b>SF (ufc/100mL)</b>	0,859	0,048
<b>Ph1/2.5(m/v)</b>	0,815	-0,251
<b>Ph</b>	0,803	-0,130
<b>T°(°C)</b>	0,745	-0,343
<b>Turbidité (NTU)</b>	0,441	-0,147
<b>Cl<sup>-</sup>(mg/L)</b>	-0,412	-0,034
<b>CE (<math>\mu</math>S/cm)</b>	0,473	0,828
<b>TDS (ppm)</b>	0,465	0,740
<b>CE1/5(m/v)</b>	-0,281	0,661



**Figure 3 :** Corrélation des paramètres étudiés avec les composantes principales.

#### 4. DISCUSSION

L'objectif principal de cette étude est d'analyser les pollutions environnementales liées à la qualité de l'eau de source à Ambatoharanana, quartier d'Ambohidramasy. Cette analyse repose sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de la ressource en eau, ainsi que sur les caractéristiques physiques du sol et sa texture.

La qualité physico-chimique de l'eau de source est caractérisée par plusieurs paramètres, notamment la température, le pH, la conductivité électrique, le TDS, la concentration en chlorures, la turbidité et le niveau de DBO. La température joue un rôle crucial dans la solubilité des gaz et des sels minéraux dans l'eau [8,6]. Les analyses ont révélé que la température varie entre 18,4°C et 23,5°C, restant en dessous de la limite tolérée par l'OMS (<25°C) et classée dans la catégorie des eaux d'émergence, selon l'étude menée par Taybi (2019) sur les eaux thermales de la source "Ain Hamra" [9]. Ces valeurs conditionnent le développement des micro-organismes, faisant de la température un indicateur de pollution, qu'elle soit chimique ou biologique, comme l'indiquent Jaofara et al., (2022) et Rabearisoa et al., (2023) [10, 11].

Le pH mesure le caractère acide ou basique de l'eau, en fonction de la teneur en éléments chimiques acides ou basiques. Selon l'OMS (2005), le pH de l'eau potable doit se situer entre 6,5 et 9,5 [12]. Cependant, les analyses révèlent que les eaux de source sont acides, avec un pH variant entre 5,05 et 5,48, ne respectant pas les normes recommandées. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues dans d'autres études, telles que celle de El Kory et al., (2011) sur l'eau de la ville de Tijkja (pH de l'ordre de 6,19) [8]. D'autres auteurs étudiant les sources des montagnes de l'ouest de la Côte d'Ivoire ont rapporté un pH moyen de 5,34 [5], similaire à ces résultats.

Plusieurs facteurs sont liés à l'acidité de l'eau de source. Selon Taybi et al., (2019) et Ernest et al., (2013), l'acidité de l'eau est étroitement liée à la production de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) issu de la décomposition de la matière organique végétale dans la première couche du sol [9,5]. Ces éléments s'hydrolysent dans l'eau pour former des ions bicarbonate HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Les analyses statistiques montrent des corrélations entre le pH et la température, indiquant que le changement de pH influence la température, ce qui peut résulter de la pollution environnementale due à l'érosion du sol. Pendant les périodes pluviales, les eaux de ruissellement érodent les sols des terrains de culture contenant ces déchets dans les eaux de source.

En outre, l'acidité de l'eau peut être liée à l'acidité du sol et cette hypothèse est vérifiée par la corrélation entre le pH de l'eau et celui du sol (R = 0,794). Généralement, les sols acides peuvent rendre l'eau de source acide, c'est pourquoi Fatma et al. (2020) ont montré dans leur article que l'eau et les roches s'interagissent entre eux [13]. Le pH acide est essentiellement lié à la présence d'acide carbonique, résultant de la dissolution du gaz carbonique produit par les racines et les micro-organismes des sols. Cela peut être dû à l'épuisement progressif du calcium et du magnésium dans le sol en raison du dépôt d'acides tels que l'acide sulfurique ou nitrique et du boisement. La conductivité électrique (CE) permet d'apprécier la minéralisation de l'eau [14]. Les analyses révèlent que les eaux de source contiennent peu



d'éléments minéraux, avec des valeurs allant de 50 $\mu$ S/cm à 130 $\mu$ S/cm, respectant ainsi les normes de l'OMS (<3000 $\mu$ S/cm). Ces valeurs sont inférieures à celles trouvées par études [18-13-1-9,8] à l'exception de ceux de Ahoussi et al., (2013) [5]. Selon ces auteurs, le niveau élevé de la conductivité électrique est causé par deux facteurs : la présence des sels évaporites et de bicarbonates, ou la nature des couches géologiques de la nappe, notamment la présence de grès et calcaires.

Selon notre recherche, le faible niveau de la conductivité électrique est lié à la faible composition chimique de la couche géologique du sol, qui est pauvre en éléments minéraux. La faible minéralisation du sol, avec une conductivité électrique comprise entre 35 et 90 $\mu$ S/cm et une moyenne de 51,35 $\mu$ S/cm, corrobore l'hypothèse de Rajonson (1992) selon laquelle les eaux naturelles de Madagascar sont généralement pauvres en minéraux [15].

Une analyse en composante principale a révélé une forte corrélation entre la conductivité électrique et les solides totaux dissous (TDS) ( $R = 0,939$ ). Cela suggère que la dissolution des minéraux dans l'eau a un impact significatif sur sa minéralisation. Le TDS de l'eau de source est compris entre 24ppm et 65ppm avec une moyenne de 40ppm qui est en dessous de la norme recommandée par l'OMS. La conductivité et le TDS peuvent refléter tous deux la présence de polluants chimiques nuisibles tels que le fer, le manganèse, le sulfate et l'arsenic [16]. Les engrais biochimiques utilisés pourraient se retrouver dans l'eau sous forme d'éléments inorganiques.

La teneur en chlorures (Cl<sup>-</sup>) dans l'eau peut également contribuer à la variation de la conductivité électrique, car les chlorures font partie des sels minéraux. Les niveaux de chlorure varient entre 43,68mg/L et 131,04mg/L, avec une valeur moyenne de 67,93mg/L. Les valeurs mesurées sont inférieures à la norme de l'OMS. Mohamed EL Kory et al. (2011) ont obtenu des résultats similaires pour la ville de Tjikja, où la teneur moyenne en chlorures est de 100 mg/L [8]. Les chlorures sont présents dans toutes les eaux, mais leur concentration peut varier considérablement. Les études de Fatma et al., (2020) et Naima et al., (2012) ont montré que les eaux souterraines peuvent avoir une teneur élevée en chlorures [13-18]. Dans notre étude, nous avons observé une valeur maximale de 131,04mg/L. Cette valeur élevée suggère que l'eau peut être contaminée par des polluants chimiques, tels que ceux provenant des activités agricoles ou de l'érosion du sol.

La turbidité mesure la propriété optique de l'eau en absorbant ou en diffusant la lumière [9] due à la présence des particules inorganiques (limon, argile et composés chimiques naturels tels que le carbonate de calcium). La turbidité de l'eau a été mesurée entre 0,01 et 10,5 NTU, avec une moyenne de 4,27 NTU. Pour certains échantillons (>5 NTU), cette valeur dépasse la norme de potabilité de l'OMS, mais elle est inférieure à celle trouvée par Taybi et al., (2019) (moyenne de 18 NTU) et proche de celle d'Ahoussi et al., (2013) [5] (moyenne de 4,08 NTU). La présence des matières en suspension dans l'eau augmente le risque de contamination microbiologique, car ces matières offrent un abri favorable aux bactéries.

La demande biologique en oxygène (DBO5) est un indicateur de la pollution organique par l'oxydation des matières organiques en présence de micro-organismes [6]. Les valeurs de DBO5 fluctuent entre 0 et 3,56 mg/L d'oxygène, respectant ainsi les normes de l'OMS, classant l'eau comme très bonne selon le tableau de classification de Jean Roddier (2009) [6]. Contrairement aux prévisions d'Ahoussi et al., (2013) [5] sur la pollution organique des eaux de source d'Ambohindramasy, nos résultats montrent une faible pollution par des micro-organismes. Jean Rodier (2009) a souligné que la DBO5 est influencée par la température, le pH, la salinité, et les processus naturels de décomposition des matières organiques, établissant ainsi des corrélations avec ces paramètres. Ces corrélations avec la température ( $R = 0,577$ ) et le pH ( $R = 0,592$ ) confirment que la DBO augmente avec le pH et la température, soulignant la pollution environnementale liée à l'érosion du sol et à l'utilisation d'engrais biochimiques dans l'agriculture. Les fortes corrélations entre DBO5/CT ( $R = 0,973$ ) et DBO5/SF ( $R = 0,977$ ) pourraient signaler une pollution microbiologique provenant des excréments animaux.

L'analyse microbiologique est cruciale pour évaluer la qualité microbiologique de l'eau. Les coliformes totaux (CT) et les streptocoques fécaux (SF) sont des indicateurs de contamination fécale. Les valeurs des CT varient entre 0ufc/100mL et 15ufc/100mL, avec une moyenne de 4ufc/100mL, tandis que les SF varient entre 0ufc/100mL et 28ufc/100mL, avec une moyenne de 8ufc/100mL. Ces valeurs dépassent les normes de potabilité de l'OMS et sont supérieures à celles trouvées par Taybi et al., (2019) pour la source « Ain Hamra » [9]. Contrairement à l'affirmation de Saâdia (2007) sur la vulnérabilité des nappes phréatiques, nos résultats soulignent une vulnérabilité accrue due aux rejets d'élevage du bétail et à l'utilisation du fumier comme engrais, contribuant à la pollution des eaux de source [17].

En résumé, les eaux de source à Ambatoharana sont sujettes à des pollutions organiques et microbiologiques, résultant de diverses sources potentielles telles que l'érosion du sol, les rejets d'élevage du bétail, l'utilisation du fumier comme fertilisant, et d'autres activités humaines. La mise en place de mesures de protection et de traitement de l'eau est essentielle pour garantir sa qualité et sa sécurité pour la consommation humaine.

## 4. CONCLUSION

Les investigations menées à Ambohindramasy ont permis d'évaluer les pollutions environnementales liées aux caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau. Cette étude démontre que, dans la zone d'étude, les eaux de source sont contaminées en raison des activités humaines, notamment l'utilisation d'engrais chimiques dans les champs de culture, ainsi que des phénomènes naturels tels que l'érosion du sol pendant la période pluviale. Leurs caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques révèlent une acidité, avec un pH de 5,3, attribuable à la décomposition de la matière végétale. De plus, les niveaux de DBO5 (1 mg/L d'O<sub>2</sub>), de turbidité (4,27 NTU), de Cl- (63,93 mg/L), de CT (4 ufc/100 mL), et de SF (8 ufc/100 mL) indiquent des pollutions chimiques et biologiques. En termes de perspectives, il est crucial de noter que les eaux de source présentent des risques pour la santé humaine en raison de leur acidité. Des mesures de préservation et de traitement de l'eau doivent être envisagées pour garantir la sécurité de la population.

**Remerciements :** Les auteurs de cette recherche remercient le Laboratoire de la faculté des sciences Fianarantsoa ainsi que les laboratoires de chimie de Radio Isotope et le Centre Nationale de Recherche sur l'Environnement (CNRE) à Antananarivo pour leur soutien dans les analyses des échantillons.

## 5. REFERENCES

- [1] Otchoumou F. K., Yapo O. B., Dibi B., Bonny A. C. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville. *International Journal of Biological and Chemical sciences*. 2017;11(5): 2495-2509. doi: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.43>
- [2] Unicef. Résultats du MICS 6 (2018) Madagascar: Enquête nationale sur la situation socio-démographique des ménages (MICS). 2018 ; Unicef, Antananarivo. Consulté le Octobre 02, 2023, sur <https://www.unicef.org/madagascar/mics2018>
- [3] JICA. Projet d'Elaboration du Schéma Directeur pour le Développement de l'Axe Economique TaToM, Madagascar: Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Habitat et des Travaux Publics (MAHTP) Gouvernement de la République de Madagascar, 2019. Consulté le juillet 2023, sur [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12340758\\_01.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12340758_01.pdf)
- [4] Bouhafs F., Laraba A., & Touati M. Caractéristiques hydrochimiques des eaux de sources de Taoura, Souk-Ahras (Nord est Algérien). *Rev. Sci. Technol.* 2020 ; 26(11) : 31-38. Consulté le 10 08, 2023, sur <https://www.ajol.info/index.php/srst/article/view/215851/203564>
- [5] Ernest A. K., Blaise K. Y., Michel K. A., Gbombélé S., & BIEMI. Étude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire : Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). *Journal of Applied Biosciences*. 2013 ; 63 : 4703 – 4719. Disponible sur doi:10.4314/jab.v63i1.87245
- [6] Jean R., Bernard L., Nicole M. et Coll. L'Analyse de l'eau, vol. 09, Dunod Paris, 2009.
- [7] Ballot C. S., Mawussi G., Atakpama W., Moita-Nassy M., Yangakola T. M., Zinga I., Silla S., Kpérkouma W., Dercon G., Komlan B. et Koffi A. Caractérisation physico-chimique des sols en vue de l'amélioration de la productivité du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans la région de Damara au centre-sud de Centrafrique. *Revue Agronomie Africaine*. 2017 ; 28(11) : 9-23. Consulté le octobre 06, 2013, sur <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/164135/153658>
- [8] Mohamed EL Kory, O. C., & Kacem, E. K. Caractérisation physico-chimique des eaux d'alimentation de la ville de Tijkja (Mauritanie). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 2011; 5(5): 2133-2139. doi: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i5.33>
- [9] Taybi H., Bargach K., Boulfia M., & Lamchouri F. Etude géologique et qualités physico-chimique et bactériologique des eaux thermales de la source "Ain Hamra" de la Province de Taza (Rif Oriental -Maroc). *Journal of Water Sciences & Environment Technologies*. 2019 ; 04(01) : 443-451.
- [10] Jaofara, Bisoa Victor, Razafitsiferana Théophile et Lehimena Clément. Analyses qualitatives des eaux de puits dans la commune urbaine de bealanana, region sofia, madagascar. *American Journal of Innovative Research and Applied Science*. Am. J. innov. res. appl. sci. 2022; 14(5): 239-252.. Available on: [ur https://www.american-jiras.com/Jaofara-Ref08-ajira070522.pdf](https://www.american-jiras.com/Jaofara-Ref08-ajira070522.pdf)
- [11] Rabearisoa A.H., Nasolomampionona R.V., Manjolongo B., Razanamparany B., Randimbarison N.S., Jibo M.H., Fidiarilanto T.S., et Rabearisoa H. Évaluation des risques sanitaires liés à la qualité de l'eau de pluie stockée dans une citerne en béton : étude de cas à Ivory avaratra, fianarantsoa, madagascar. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. 2023; 17(14): 233-240. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8416718>
- [12] OMS. Combattre les maladies véhiculées par l'eau à la maison. Genève: Suisse: Organisation Mondiale de la Santé ;2005.
- [13] Fatma B., Abdelaziz L., & Mounira T. Caractéristiques hydrochimiques des eaux de sources de Taoura, Souk-Ahras (Nord est Algérien). *Revue des Sciences et de la Technologie*. 2020 ; 26(11): 31-38. Consulté le Octobre 10, 2023. Available on: <https://www.ajol.info/index.php/srst/article/view/215851/203564>
- [14] Frantzy Orelie. Etude de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dans le sous-bassin versant de Ravine Diable (Anse-a-Veau). Belgique: Université de Liège ; 2017. pp. 1-85. Consulté le 08 03, 2023. Available on: <http://hdl.handle.net/2268.2/324>
- [15] Rajonson J., Rasolofonirina N., Ratoaveloson J., & Ravaonindriana N. Madagascar : Récupéré sur Institut de Recherche pour le Développement (IRD). (1992, 11). Available on: [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/carton01/40360.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/carton01/40360.pdf)
- [16] Maoudo H., Ibrahima D., Momar N., Birame N., Cheikh Tidiane D., Dame C., & Abdoulaye D. Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits et de forage consommées dans la commune de Sinthiou Maléme dans la région de Tambacounda (Sénégal). *International Formulae Group*. 2020; 14(9): 3400-3412. doi: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.34>

- [17] Saâdia B., Khadija O., Saïd O., Nourredine E. H., & Benaïssa A. Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc). *Afrique SCIENCE*. 2007 ; 03(13) : 391 - 404.
- [18] Naima H.El H., Mohamed S., Brahim L., & MAHJOUR L. E. Évaluation de la qualité des eaux souterraines pour l'utilisation dans l'eau potable et l'agriculture : plaine de Tadla, Maroc. *Afrique SCIENCE*. 2012 ; 08(01) : 54-66.



How to cite this article: **Andry Harinaina, Rabearisoa, Nalinirina Tantely, Rabemiafara, Bertrand, Manjolongo, Sarobidy Placide, Randriamanantena, Viviane, Harinandrasana, Ravo Victoire, Nasolomampionona, Hajandrainy, Rabearisoa, Mbolanirina Mamisoa, Rabemiafara, Bruno, Razanamparany, Nasolo Sedravola, Randimbiarison, et Lazanirina Henintsoa, Rabemiafara.** ÉVALUATION DE LA CONTAMINATION DE L'EAU DE SOURCE PAR DES POLLUANTS ENVIRONNEMENTAUX : CAS D'AMBOHIDRAMASY, QUARTIER AMBATOHARANANA, MADAGASCAR. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4): 294-303. DOI: 10.5281/zenodo.10030574

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

# ANALYSE DE LA GESTION ET DE L'EXPLOITATION DE LA MANGROVE A SONFONIA-CONAKRY (GUINEE)



| Daouda KONATE <sup>1\*</sup> | Moussa KEITA <sup>2</sup> | Sâa Moussa KAMANO <sup>1</sup> | et | Célestin Zoba SOROPOGUI <sup>1</sup> |

<sup>1</sup> Institut Supérieur des Sciences et de Médecine Vétérinaire de Dalaba | Département de Pêche et Aquaculture | Guinée |

<sup>2</sup> Centre de Recherche Scientifique Conakry Rogbané | département environnement | Guinée |

| DOI: 10.5281/zenodo.10040847 | Received September 18, 2023 | Accepted October 19, 2023 | Published October 25, 2023 | ID Article | Martini-Ref1-4-17ajiras181023 |

## RESUME

**Introduction :** En 1965, la superficie mangrovière de la Guinée était de 350 000 ha, et elle est passée à 296 000 ha en 2006, avec une régression moyenne de 450 ha par an, soit un taux de régression de 4,2%. Dans la zone de Sonfonia, le bûcheronnage, l'agriculture, la saliculture et le fumage de poisson sont les principales activités effectuées dans les zones de mangrove. **Objectif :** L'objectif de ce travail est d'étudier la dynamique d'exploitation et la gestion de la mangrove débarquée au port de Sonfonia, afin de proposer des mesures correctives et d'apporter des méthodes de gestion durable de cet écosystème. **Méthodes :** La méthodologie adoptée comprend les étapes suivantes : la consultation des cadres et l'analyse des archives (CERESCOR, Direction communale de l'environnement, Direction communale de la pêche et de l'aquaculture de Ratoma) ; la cartographie de la zone d'étude ; l'analyse et le traitement des données cartographiques de 1994 à 2019 ; l'enquête auprès des acteurs (bûcherons, fumeuses de poisson et saliculteurs) ; la détermination des causes de la surexploitation des mangroves ; la proposition de quelques mesures correctives. **Résultats :** La cartographie réalisée a démontré la réduction de la surface de la mangrove. En 1994, la superficie mangrovière de Sonfonia était de 48,87 ha, elle est passée à 35,09 ha en 2016 et 24,60 ha en 2019. Les bûcherons enquêtés affirment que 66,6% effectuent des coupes à la rase ; 23,4% pratiquent la sélectivité et 10% ne coupent que des bois secs. En moyenne, 30 400 troncs d'arbres de Rhizophora, soit 106,4 tonnes, et 200 troncs d'Avicenia sont débarqués par mois au port de Sonfonia. Rhizophora est le plus utilisé, soit 65%, dans le fumage, et le prix des bois varie entre 15 000 et 45 000 fg par jour et par fumeuse, pour une quantité de bois variant entre 7 et 15 kg. Les causes de la surexploitation des bois de mangrove sont d'ordre économique à 96%. Huit espèces exclusives de palétuviers se rencontrent dans la zone de Sonfonia, notamment : *Acrostichum aureum*, *Avicenia marina*, *Avicenia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora harrisonii*, *Rhizophora racemosa* et *Rhizophora mangle*. **Mots clefs :** Cartographie, surexploitation, palétuvier.

## ABSTRACT

**Introduction:** In 1965, the mangrove area in Guinea covered 350,000 hectares, and by 2006, it had reduced to 296,000 hectares, with an average regression of 450 hectares per year, indicating a regression rate of 4.2%. In the Sonfonia area, logging, agriculture, salt farming, and fish smoking are the main activities conducted in the mangrove zones. **Objective:** The aim of this study is to examine the dynamics of exploitation and management of the mangrove at the port of Sonfonia, with the goal of proposing corrective measures and introducing sustainable management methods for this ecosystem. **Methods:** The following methodology was adopted: consultation of frameworks and analysis of archives (CERESCOR, Communal Directorate of the Environment, Communal Directorate of Fisheries and Aquaculture of Ratoma); mapping of the study area; analysis and processing of cartographic data from 1994 to 2019; survey of stakeholders (loggers, fish smokers, and salt farmers); determination of the causes of mangrove overexploitation; proposal of corrective measures. **Results:** The conducted mapping demonstrated a reduction in the mangrove area. In 1994, the mangrove area in Sonfonia was 48.87 hectares, decreasing to 35.09 hectares in 2016 and 24.60 hectares in 2019. Surveyed loggers reported that 66.6% engage in clear-cutting, 23.4% practice selectivity, and 10% only cut dry wood. On average, 30,400 trunks of Rhizophora trees, equivalent to 106.4 tons, and 200 trunks of *Avicenia* are unloaded monthly at the port of Sonfonia. Rhizophora is the most used, accounting for 65%, in smoking, and the price of wood varies between 15,000 and 45,000 fg per day and per smoker, for a quantity of wood ranging from 7 to 15 kg. The causes of mangrove wood overexploitation are primarily economic, accounting for 96%. Eight exclusive mangrove species are found in the Sonfonia area, including *Acrostichum aureum*, *Avicenia marina*, *Avicenia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora harrisonii*, *Rhizophora racemosa*, and *Rhizophora mangle*. **Keywords :** Mapping, overexploitation, mangrove.

## 1. INTRODUCTION

L'écosystème de mangrove, souvent décrit comme un milieu de transition crucial, exerce une double fonction de protection en préservant la terre de l'influence de la mer et la mer des influences terrestres. Les racines aériennes denses des palétuviers, constituantes majeures de ce système, jouent un rôle multifonctionnel aux implications écologiques importantes. Outre leur contribution à la biodiversité, ces racines agissent comme une barrière naturelle contre l'érosion marine, offrant une défense essentielle contre les effets néfastes du changement climatique, notamment l'élévation du niveau de la mer. Dans ce contexte, les mangroves fournissent une protection cruciale aux habitations côtières, agissant comme un rempart contre les inondations résultant de phénomènes météorologiques extrêmes.

En lien avec la dynamique globale du changement climatique et de la remontée du niveau de la mer, les mangroves jouent également un rôle de bassin de décantation. Elles captent les eaux chargées de sédiments transportées par les rivières avant leur déversement dans la mer, contribuant ainsi à la préservation de la qualité des eaux côtières [1]. Cette fonctionnalité revêt une importance cruciale

dans le maintien de l'équilibre écologique, en préservant la biodiversité marine et en limitant les impacts néfastes sur les écosystèmes marins adjacents.

En Guinée, la mangrove, dont la superficie estimée était de 350 000 hectares en 1965, connaît une régression inquiétante, couvrant en 2002 une superficie réduite à 296 300 hectares. Cette diminution, en grande partie attribuée à une pression anthropique soutenue, se traduit par une régression moyenne annuelle de 450 hectares, soit un taux alarmant de 4,2% [2] Cette situation met en lumière la vulnérabilité croissante de cet écosystème précieux face aux activités humaines, soulignant l'urgence de mesures de conservation et de gestion durable.

En raison de sa localisation stratégique entre la mer et la terre, la mangrove est devenue une cible pour diverses activités humaines, mettant en péril sa survie. Chaque année, des hectares de mangroves disparaissent en raison de l'expansion de pratiques destructrices, compromettant ainsi la biodiversité associée. Il devient impératif de mieux comprendre l'importance de la mangrove et le rôle crucial qu'elle offre, tels que la régulation climatique et la protection des côtes [3]. Dans la zone spécifique de Sonfonia, le bucheronnage, l'agriculture, la saliculture et le fumage de poisson sont identifiés comme les principales activités anthropiques exercées dans les zones de mangrove. Ces pratiques ont des conséquences significatives sur la végétation côtière de mangrove dans cette région. Les initiatives de préservation et les moyens de contrôle de la coupe abusive des bois restent insuffisants, laissant les activités anthropiques exercer une pression continue sur la surface de la végétation mangroviennne. Actuellement, celle-ci est réduite à une étroite bande de forêt le long des côtes et bras de mer.

Afin de remédier à cette situation, des études approfondies sur la qualité de l'eau, la biodiversité marine et les impacts anthropiques sont impératives. Des initiatives de recherche visant à cartographier la répartition des polluants, à évaluer la santé de la mangrove et à comprendre les dynamiques hydrologiques spécifiques à cette région doivent être entreprises. Ces données scientifiques seront cruciales pour orienter les actions de conservation et de restauration de l'écosystème, en intégrant des approches multidisciplinaires et des solutions basées sur des preuves. L'objectif serait de développer des pratiques de gestion durable qui préservent à la fois la biodiversité et les activités socio-économiques dans cette région vitale [4].

## 2. MATERIELS AND METHODES

### 2.1 Présentation de la zone d'étude (Sonfonia)

Le fleuve Sonfonia, se jetant dans la baie de Sangaréya aux côtés des fleuves Bouramaya et Soumba, constitue un système hydrologique complexe. La coexistence de ces cours d'eau entraîne un déversement continu d'une quantité substantielle d'eau douce dans la baie, influencé par les flux et reflux marins. Le mécanisme de la marée agit comme un "moteur" essentiel du mouvement des marées, assurant un mélange constant des eaux et prévenant ainsi la sédimentation au large de la baie.

L'embouchure du fleuve Sonfonia confère à cette région un statut particulier en tant que site d'attraction socio-économique majeur. Cependant, malgré son importance écologique et économique, cette zone est confrontée à une dégradation avancée de son écosystème de mangrove. Les pressions anthropiques, notamment les activités industrielles et les pratiques agricoles non durables, contribuent à cette dégradation, compromettant la stabilité de la mangrove.

Parallèlement, l'accumulation de polluants dissouts et de déchets plastiques dans cette zone constitue un enjeu majeur. Les travaux de Keita (2012) [5] soulignent l'urgence de comprendre la nature et l'ampleur de cette pollution. Une analyse approfondie des types de polluants présents, de leur source et de leur impact sur l'écosystème local est nécessaire pour élaborer des stratégies de préservation efficaces.

**Tableau 1** : Liste du matériel utilisé

N°	Désignation	Quantité
1	Fiche d'enquête	49
2	Appareil photo	1
3	Pirogue	1
4	Centimètre	1
5	Corde polyester	1
6	Plastique	8

### 2.2 Le matériel biologique

Les mangroves sont les plantes aquatiques les plus dominantes dans la zone d'investigation dont les espèces dominantes sont : *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus*. L'objectif visé par ce travail est d'étudier la dynamique d'exploitation et la gestion des bois de mangrove débarquée au port de Sonfonia, afin de proposer des mesures correctives et d'apporter des méthodes de gestion durable de cet écosystème.

### 2.3 Méthodes

L'objectif visé par ce travail est d'étudier la dynamique d'exploitation et la gestion de la mangrove débarquée au port de Sonfonia, afin de proposer des mesures correctives et d'apporter des méthodes de gestion durable de cet écosystème. la méthodologie suivante a été adoptée : La consultation des cadres et analyse des archives (CERESCOR, Direction communale de l'environnement, Direction communale de la pêche et de l'aquaculture de Ratoma) ; la Cartographie de la zone d'étude ; l'Analyse et traitement des données cartographiques de 1994 à 2019 ; l'Enquête auprès des acteurs (bucheurs, fumeuses de poisson et saliculteurs) ; la détermination

des causes de la surexploitation des mangroves ; l' inventaire des espèces de mangroves, l' identification de quelques zones d'exploitation de la mangrove ; la proposition de quelques mesures correctives [6,7].

### 3. RESULTATS

#### 3.1 De la consultation des cadres et de l'analyse des archives

La consultation de cadres a montré que les activités anthropiques ont des impacts négatifs sur l'environnement côtier. Elles contribuent à la régression de la mangrove tout en favorisant la destruction des niches écologiques de nombreux organismes aquatiques mais aussi à la déstabilisation du sol.

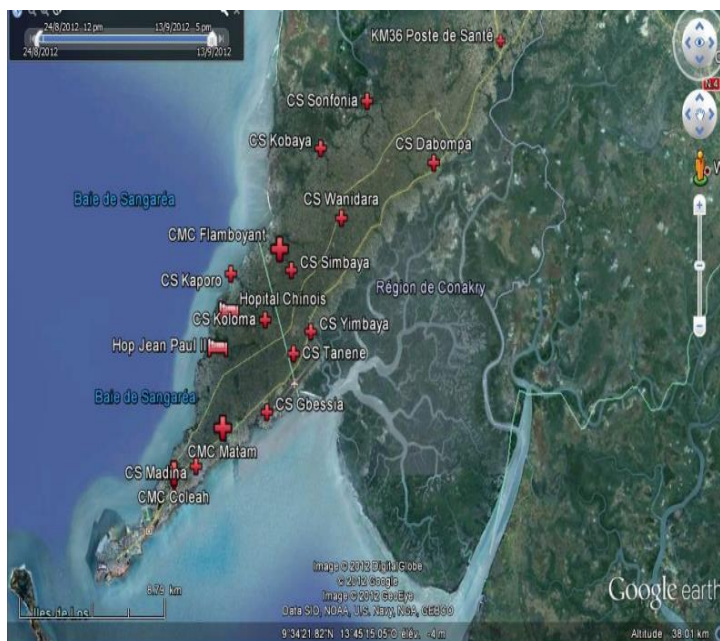


Figure 1 : Zone d'étude

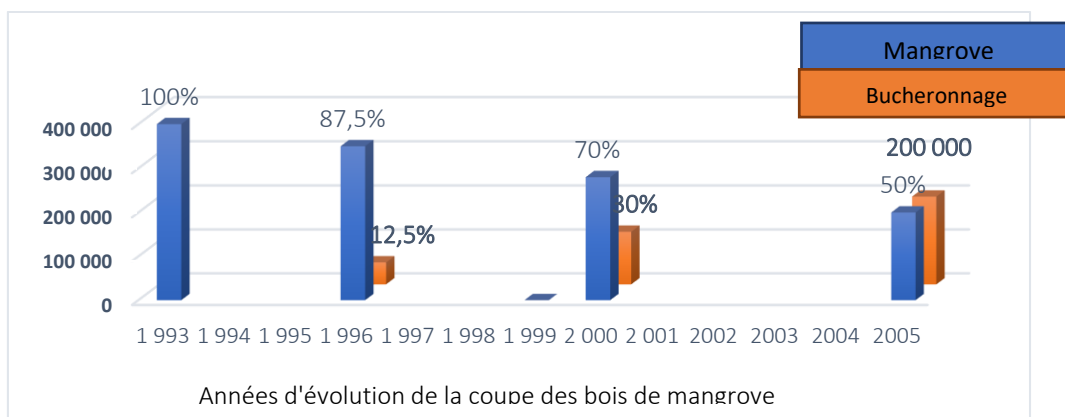


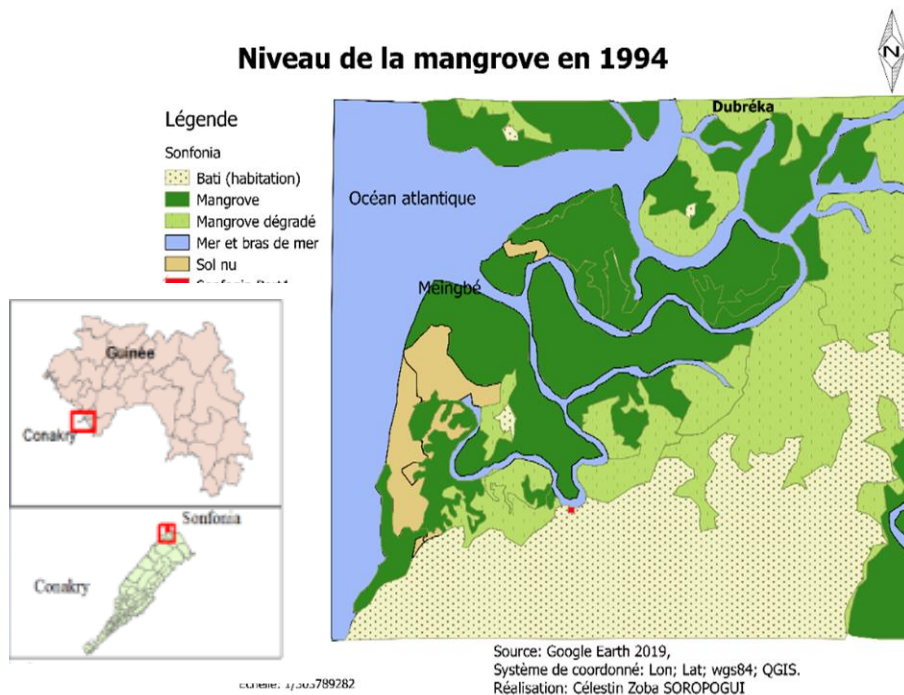
Figure 2 : Evolution de la coupe des bois de mangroves de 1993-2005.

#### 3.2 De la cartographie de la zone d'étude

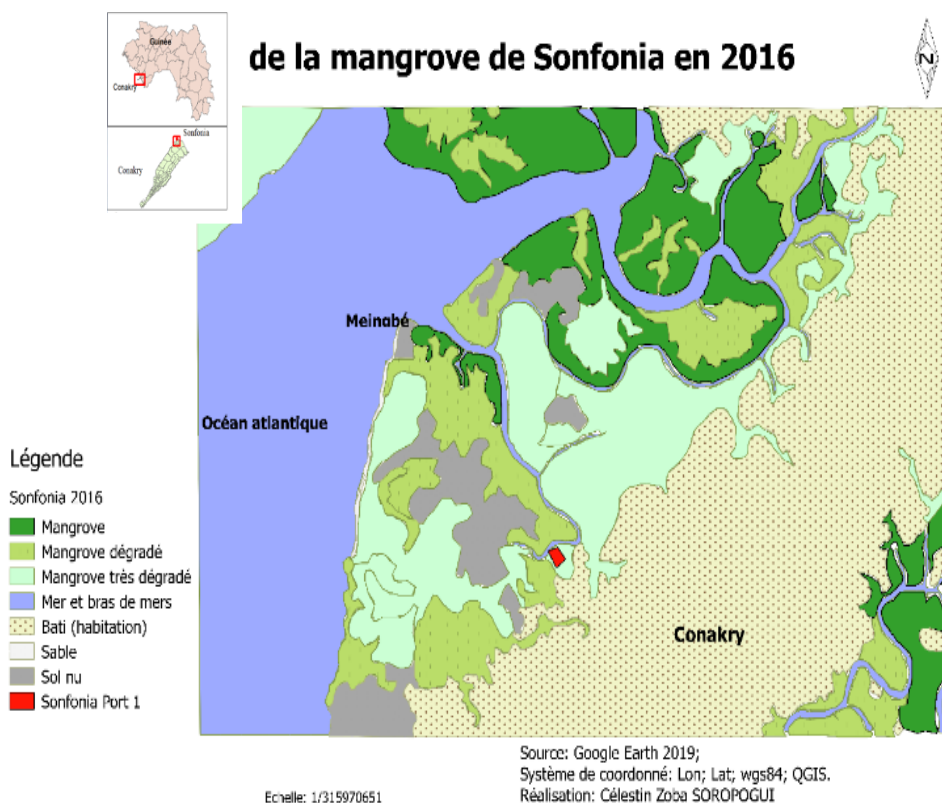
Pour avoir une idée sur les différentes variations et la dynamique de la mangrove de Sonfonia pendant les années suivantes : 1994, 2016 et 2019, nous avons effectué des cartes de la zone d'étude (Sonfonia) à l'aide d'images satellites du logiciel Google Earth et Qgis.

#### 3.3 Intégration et traitement des images dans QGIS

A l'aide de l'extinction QGIS 2.18.10 Las Palmas de GC, nous avons créé un nouveau projet ou nous avons importé les images satellites pré-téléchargées en données raster afin de produire une carte pour chaque année.



**Figure 3 :** Etat de la mangrove en 1994.



**Figure 4 :** Etat de la mangrove en 2016.

### Niveau de la mangrove de Sonfonia en 2019

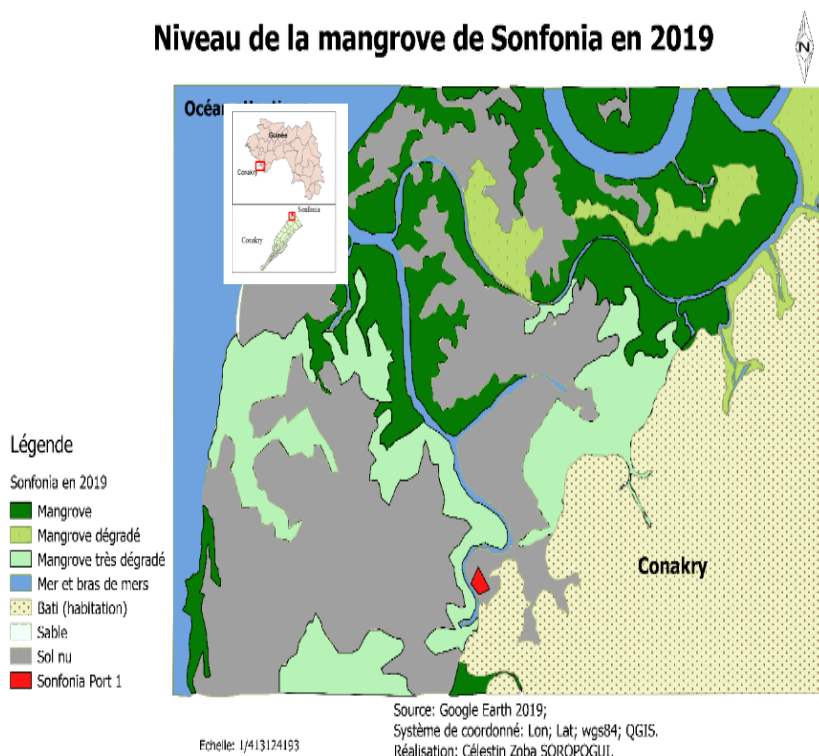


Figure 5 : Etat de la mangrove en 2019.

Tableau 2 : Superficie d’occupation des sols de 1994, 2014 et 2019.

Classes	Superficie des classes en ha		
	1994	2016	2019
<b>Bâti</b>	33,47	65,84	109,80
<b>Mangrove</b>	93,70	45,09	21,60
<b>Mangrove dégradée</b>	34,67	59,89	27,68
<b>Sol nu</b>	33,69	43,69	68,45

De ces cartes, nous remarquons que la surface mangroviennne régresse progressivement au fil du temps, laissant place à l’urbanisation et aux sols nus, cela à cause d’une explosion démographique mais aussi l’urbanisation le long des côtes et l’accroissement des activités anthropiques nuisibles à l’environnement côtier. En 1994, la mangrove avait la plus grande superficie (93,7 ha), malgré cela la régression de cette dernière avait déjà commencé et la superficie de la mangrove dégradée était de 34,67 ha. L’augmentation de la surface des sols nus en 2016 est dû aux activités anthropiques. Certaines zones mangroviennes sont visiblement dégradées, la surexploitation des bois continue et provoque l’exposition des sols à tous les facteurs climatiques. Les superficies de la mangrove diminuent continuellement (45,09 ha en 2016) tandis que le bâti prend de plus en plus de surfaces (65,84 ha, en 2016) selon Keita (2019) [8]. Pour la représentation des variations des différentes classes d’occupations du sol de Sonfonia de 1994 à 2019, les valeurs représentant les différentes zones des cartes sont affichées dans l’histogramme suivant.

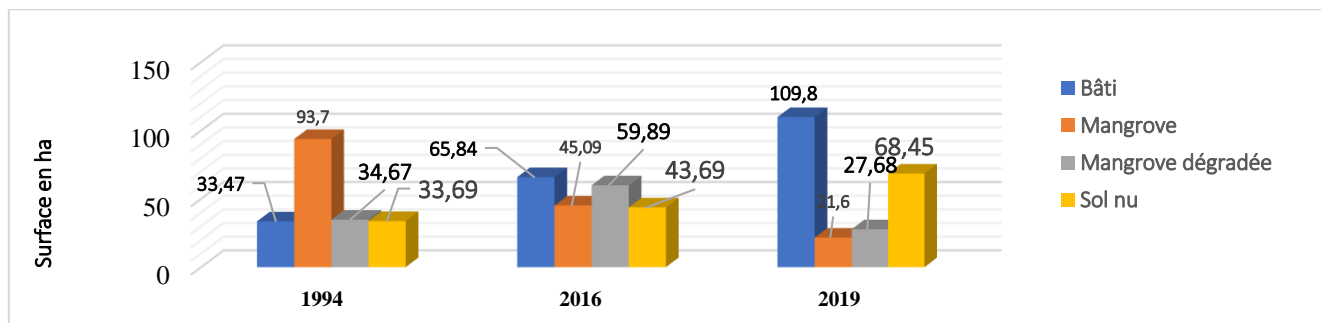


Figure 6 : Variation des classes d’occupation du sol de Sonfonia de 1994 à 2019.

L’analyse de cet histogramme montre que la régression de la mangrove est en fonction avec la croissance démographique ; elle est passée de 93,7 ha en 1994 à 21,6 ha en 2019 tandis que, l’espace occupé par l’urbanisation est passée de 33,47 ha en 1994 à 109,8 ha en 2019. Sur les espèces de mangrove rencontrées dans la zone de Sonfonia, seul le *Rhizophora* et l’*Avicenia* sont les plus



exposées à la coupe abusive. La raison du choix de ces deux espèces s'explique par le pouvoir calorifique soit 4 500 kcal/kg qu'à le *Rhizophora* et l'*Avicenia*, recherché pour sa solidité dans les constructions. Sachant que la valeur d'une perche varie entre 3500 et 4500 fg. La quantité moyenne de bois de *Rhizophora* coupé par bûcheron est de 400 troncs de bois/jour ce qui correspond à 44,8 tonnes de bois/mois/ bucheron. De ces résultats, nous déduisons que le bucheronnage est un facteur accélérant la perte massive de la mangrove à Sonfonia. Au cours de ces différentes interrogations, il a été mis à notre connaissance qu'il existe trois types d'exploitants des ressources ligneuses de la mangrove représenté dans l'histogramme ci-dessous :

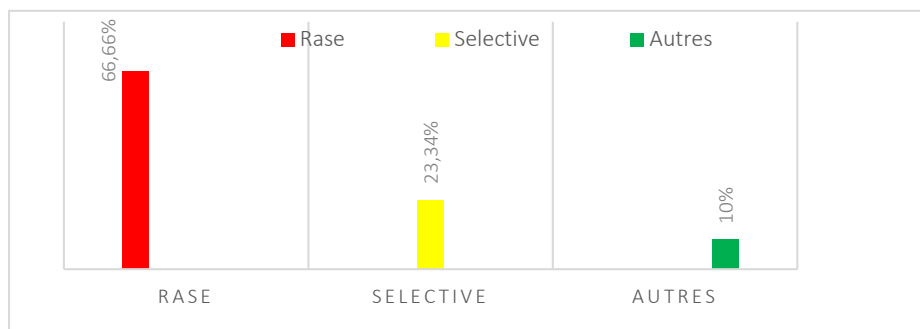


Figure 7 : Exploitants des ressources ligneuses de la mangrove.

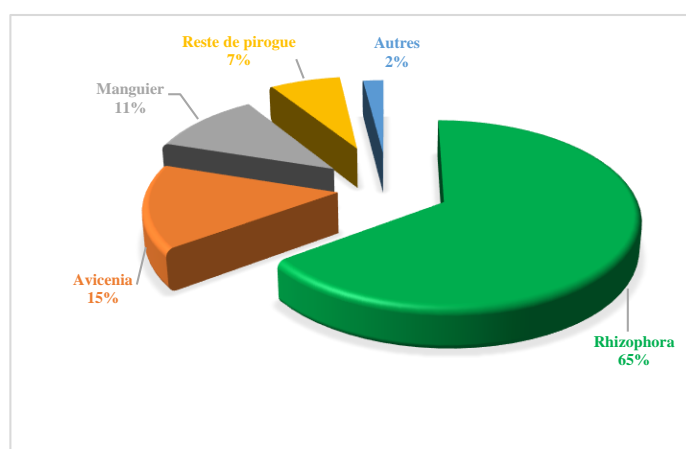


Figure 8 : proportion des types de bois utilisés pour le fumage de poisson.

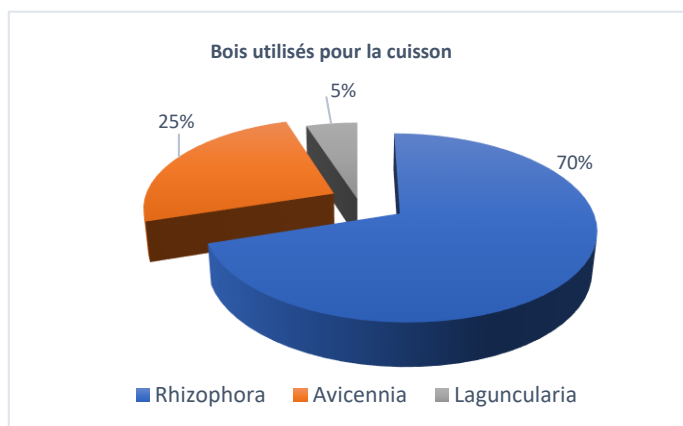


Figure 9 : Les espèces de bois de mangrove utilisées pour la cuisson du sel.

Le Figure 8 montre que le fumage de poisson est une activité non négligeable qui participe indirectement à la dégradation de la mangrove car il contribue à l'augmentation de l'effort de la coupe des bois en procurant de l'argent aux bucherons ; les deux principales espèces de bois ciblées par les bucherons sont les plus utilisées dans cette activité dont le *Rhizophora* à 65% et l'*Avicenia* à 15% ; tant dis que les poissons fumés avec le manguier, les restes de pirogues et autres bois sont destinés à la consommation familiale. Les bois de *Rhizophora* sont utilisés à 70%, *Avicennia* 25% et *Laguncularia racemosa* 5%. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les bois de *Rhizophora* sont beaucoup plus recherchés à cause de leur combustibilité, de leur résistance et de leur faible émission de fumé selon le Figure 9.

La quantité de bois moyenne totale utilisée pendant une année pour la production du sel est de 33300 kg soit 33,3 tonnes ; et pour la cuisson d'un kg de sel, il faut 3,1 kg de bois de mangrove. D'après les chiffres détaillés des résultats d'enquêtes obtenus auprès

des acteurs, les quantités de bois consommées strictement par la population de Sonfonia pour les besoins domestiques sont peu importantes. Mais celles destinées à la vente, à la riziculture et à la saliculture font d'énorme dégât. Les valeurs obtenues auprès des bûcherons et des agriculteurs sont considérées sous estimées car il est fort probable que les personnes interrogées dans le cadre de cette enquête, aient fourni des quantités plus basses que celles réellement exploitées.

N°	Source d'incidence	Effets	Incidence	Eléments impactés
1	Coupe de bois	Déforestation, destruction des habitats, érosion marine	Baisse de la capacité de régénération, de la production halieutique, migration et envasement	Végétation, faune terrestre et aquatique, eaux
2	Nettoyage des aires de grattage	Destruction des jeunes plantes et des herbiers	Exposition du sol aux rayonnements solaires	Végétaux, sols, animaux
3	Grattage de la terre salée	Destruction de la matière organique et la structure du sol	Tonification des sols	Sols, microorganismes
4	Cuisson de la saumure	Lessivage de la terre	Stérilisation des sols	Sols, microorganismes

**Tableau 3 :** Le tableau montre le bilan des incidences des activités entropiques sur la mangrove.

L'impact environnemental des activités anthropiques sur les écosystèmes, notamment les opérations de production salicole, rizicole, sylvicole et de récolte d'huîtres sauvages, se traduit par des effets néfastes à divers niveaux sur la mangrove. cela a été aussi observé par Ladibio (2003) [9].

### 3.4 Les incidences majeures sont les suivantes :

#### **Coupe de bois pour la cuisson de la saumure :**

**Effet :** Disparition de la couverture végétale de la mangrove, entraînant une diminution de sa capacité de régénération et la destruction de l'habitat de la faune et de l'avifaune.

#### **Ouverture de nouveaux casiers pour le grattage de la terre salée :**

**Effet :** Abandon des anciens sites de production salicole au profit de nouveaux sites proches des forêts pour un accès facilité au bois, modifiant ainsi la dynamique d'utilisation des sols de mangrove.

#### **Grattage de la terre salée :**

**Effet :** Destruction de la faune microscopique et des herbacées, ainsi que transport et lessivage des terres salées conduisant à la destruction de la matière organique et à la stérilisation des sols.

#### **Cuisson du sel :**

**Effet :** Consommation importante de bois entraînant la destruction de la couverture végétale.

#### **Proposition de mesures correctives :**

À la lumière de nos investigations sur le terrain, des consultations avec les experts et l'analyse des données satellitaires, des mesures correctives sont suggérées dans le tableau 4:

**Tableau 4 :** Mesures d'atténuations.

Activité	Mesures Correctives
<b>Coupe de bois</b>	Promotion de pratiques de cuisson alternatives, comme les fours solaires.
<b>Grattage de la terre salée</b>	Mise en place de pratiques de grattage respectueuses de la biodiversité et des zones humides.
<b>Cuisson du sel</b>	Encouragement de technologies de cuisson économes en bois.
<b>Ouverture de casiers</b>	Régulation des activités de grattage et promotion de la réhabilitation des anciens sites.

L'implémentation de ces mesures correctives, avec la collaboration des parties prenantes concernées, offre l'espoir d'un rétablissement de la mangrove, avec la restauration des zones de frai et de nurseries. Ces solutions sont fondées sur une approche scientifique et environnementale, visant à assurer la durabilité de cet écosystème précieux.

## 5. CONCLUSION

Cette étude approfondie nous a permis d'évaluer de manière rigoureuse l'impact des activités anthropiques sur l'écosystème de la mangrove. Les résultats soulignent l'impératif de la conservation de cette mangrove, un tampon naturel crucial entre la mer et la terre, confrontée à une dégradation significative d'origine anthropique, résultant notamment des pratiques de culture de riz, de saliculture, de fumage de poisson et de bucheronnage.

L'importance écologique de la mangrove en tant que source riche de ressources naturelles, contribuant à l'approvisionnement en ressources ligneuses de la capitale guinéenne, nécessite une attention particulière de la part de toutes les parties prenantes impliquées dans les filières associées à la mangrove, ainsi que du gouvernement. Les résultats indiquent que bien que les bûcherons ne respectent pas les règlements environnementaux en raison d'un manque d'information et de formation, la riziculture, le bucheronnage et la saliculture demeurent, selon nos conclusions,

les activités les plus dévastatrices pour les écosystèmes de mangrove. Le fumage de poisson et la récolte d'huîtres sauvages sont également des activités contribuant à la destruction de l'environnement côtier, marquant une dégradation avancée de cette zone due aux activités humaines.

## Recommandations:

### A l'État:

- Soutenir les ONG œuvrant dans le reboisement, particulièrement en milieu rural.
- Investir dans la formation, l'encadrement, et la sensibilisation des bûcherons, saliculteurs et cultivateurs sur l'importance des forêts de mangrove, contribuant ainsi à la lutte contre l'érosion côtière, le réchauffement climatique, et les inondations.

### Aux directions environnementales des zones côtières:

- Surveiller attentivement les activités des bûcherons dans les sites d'exploitation des bois de mangrove pour limiter la déforestation.
- Créer des aires protégées pour assurer la pérennité de certaines essences de palétuviers.

### Aux bûcherons:

- Constituer des groupements, des associations et ONG pour organiser des campagnes de reboisement dans les zones impactées.
- Se former sur les pratiques de gestion durable de l'environnement et sensibiliser tous ceux pratiquant cette activité.
- S'engager activement dans des initiatives de reboisement.

### Aux agriculteurs:

- Limiter l'utilisation d'engrais chimiques en faveur d'engrais organiques pour préserver les zones de fraie contre les polluants chimiques.
- Acquérir la notion de sédentarisation pour pallier au défrichement de nouveaux sites rizières de mangrove.

### Aux saliculteurs:

- Cesser la production de sel avec du bois et privilégier le développement de la saliculture solaire sur bâches.

## 6. REFERENCES

1. Vega C. Coastal Dynamics and Mangrove Structure in French Guiana: Analysis of the Sinnamary Site from 1951 to 1999 using Remote Sensing and In Situ Studies [master's thesis]. Toulouse; 2000.
2. MMGE/PNUD/FEM. National Strategy and Action Plan on Biological Diversity in Guinea. 2002. 173p.
3. Food and Agriculture Organization (FAO). French Overseas Mangroves: Ecosystems Associated with Coral Reefs? Accessed July 28, 2019. Available from: [https://www.google.com/search?q=les+%C3%B9angroves+de+1%27outres+mer+français&rlz=1C1RAEH\\_frGN832GN832&oq=les+%C3%B9angroves+de+1%27outres+mer+français&aqs=chrome..69i57j33.47673j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=les+%C3%B9angroves+de+1%27outres+mer+français&rlz=1C1RAEH_frGN832GN832&oq=les+%C3%B9angroves+de+1%27outres+mer+français&aqs=chrome..69i57j33.47673j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8). Published 2007.
4. Kwassi Abla E. Contribution of Satellite Remote Sensing to Integrated Coastal Management: Mapping Mangroves and Land Use on the Ehotile Islands (Aby-Ivory Coast) [master's thesis]. UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Coady; 2002. Accessed July 19, 2019.
5. Keita ML. Evaluation Report on the Diversity of Marine and Coastal Ecosystems: Case of the Sonfonia Zone. Conakry; 2012. Mission Report.
6. Jadot C. The Mangrove: An Ecosystem in the Service of Humanity. ES Caribbean LLC; 2016.
7. Lang FS. Sediment Depollution of a Mangrove in the Wouri Estuary: Assessment of Microflora Potential [doctoral thesis]. Liège: Université de Liège, Gembloux Agro-BioTech (Belgium); 2016. 163p.
8. Keita A. Global Action Program for the Protection of the Marine Environment from Land-Based Activities: Case of the Republic of Guinea. Accessed August 27, 2019. Available from: <http://www.fao.org/3a-br721f.pdf>. Published 1995.
9. Ladibio. Ecological Dynamics of Mayotte Mangroves in Relation to Erosion Processes in Watersheds. Mayotte: IFRECOR Documentation; 2003. Report. Accessed July 19, 2019. Available from: <http://ifrecor-doc.fr/items/show/1272>.



**How to cite this article: Daouda KONATE, Moussa KEITA, Sâa Moussa KAMANO, et Célestin Zoba SOROPOGUI.** Analyse de la gestion et de l'exploitation de la mangrove à Sonfonia-Conakry (Guinée). *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023;17(4): 304-311. DOI: 10.5281/zenodo.10040847

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

# SPATIAL DISTRIBUTION OF CHLORIDE IONS IN GROUNDWATER USING KRIGING INTERPOLATION: A CASE STUDY IN AL-SHAMMIS, SYRIA

| Ezzat Harba <sup>1\*</sup> | and | Nisreen, KHALLOUF <sup>2</sup> |<sup>1</sup>. Tishreen University | Postgraduate Student a Department of Environmental Engineering | Faculty of Civil Engineering | LATTAKIA | SYRIA |<sup>2</sup>. Tishreen University | Department of Environmental Engineering | Faculty of Civil Engineering | LATTAKIA | SYRIA |

| DOI: 10.5281/zenodo.10041607 | Received September 22, 2023 | Accepted October 23, 2023 | Published October 26 2023 | ID Article Ezzat-Ref1-4-17ajiras221023 |

## ABSTRACT

**Introduction:** This research addresses a concerning issue that emerged in the Shmamis well in early 2018, revealing the presence of cyanide in varying proportions ranging from 0.001 to 0.002 mg/l. The focus is on understanding and mitigating this water quality challenge. **Objective:** The primary objective of this study is to evaluate the quality of well water in the Shamamis area. This assessment encompasses an examination of the water's suitability for both drinking and irrigation, aligning with Syrian standard specifications. Additionally, the study aims to investigate the spatial contamination levels of groundwater pollutants in the region. **Methods:** The methodology employed involves the utilization of Kriging to study the spatial contamination levels of groundwater pollutants. This geostatistical interpolation technique is applied to map and analyze the distribution patterns of contaminants, providing valuable insights into the extent of pollution in the study area. **Results:** The analysis of the well water quality in the Shamamis area revealed the presence of cyanide within the range of 0.001 to 0.002 mg/l. Furthermore, employing Kriging facilitated a spatial assessment of groundwater pollutants, allowing for a comprehensive understanding of contamination levels across the region. **Conclusion:** In conclusion, this research sheds light on the critical issue of water contamination in the Shamamis well. The findings highlight the presence of cyanide and prompt an evaluation of the water's fitness for consumption and irrigation. The spatial analysis using Kriging contributes to a nuanced understanding of groundwater pollutant distribution. This study underscores the importance of addressing water quality concerns in the Shamamis area, emphasizing the need for remedial measures to safeguard both drinking water and agricultural resources.

**Keywords:** Shamamis Well; Cyanide Contamination; Water Quality Assessment; Kriging Methodology; Groundwater Pollutants.

## 1. INTRODUCTION

Water, a vital element for all living beings on Earth, plays a crucial role in sustaining life, irrespective of its origin. In certain regions of Syria, groundwater serves as a lifeline for crop irrigation and potable water supply. However, the vulnerability of these sources to pollution varies significantly between surface and groundwater. The unique geological composition, characterized by underground rock layers, acts as a natural filtration system, mitigating water pollution in groundwater unlike the swift contamination often observed in surface water.

Among the regions rich in groundwater, the Syrian coast stands out, boasting wells essential for both agricultural irrigation and human consumption. Unfortunately, the proximity of sewage complexes, extensive use of chemical and organic fertilizers, and ongoing agricultural practices pose serious threats to the purity of these groundwater reservoirs. The infiltration of pollutants into the groundwater can result in elevated levels of salts, nitrates, nitrogenous and phosphoric acids, as well as pathogenic microorganisms and heavy metals. The presence of these contaminants, especially in concentrated amounts, can lead to detrimental health effects, including poisoning.

Scientific investigations have highlighted a compelling correlation between agricultural activities and the overall quality of groundwater in the surrounding areas [6,2]. As we delve into this study, our primary objective is to comprehensively examine the dynamics of groundwater pollution in the Syrian coastal region. Specifically, we aim to assess the impact of anthropogenic activities on groundwater quality, identify key sources of contamination, and propose effective measures for sustainable water management and conservation. Through this research, we endeavor to contribute valuable insights that can inform policymakers, researchers, and local communities in their efforts to safeguard this invaluable resource for future generations.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Data Exploration and Processing

To generate comprehensive maps depicting the distribution of physical and chemical elements, an in-depth exploration of the data was conducted using the ArcGIS 10.2.2 program. The process involved meticulous examination of relevant slides to ensure data accuracy and reliability.

## 2.2 Statistical Analysis

Following the initial data exploration, a rigorous statistical analysis was performed to assess the data's suitability for generating mathematical surfaces. This analysis considered the statistical properties of the dataset, ensuring robustness in subsequent modeling.

## 2.3 Model Selection:

The selection of an appropriate model was a critical step in this study. A comparative evaluation of various models within the ArcGIS 10.2.2 program was conducted, with preference given to the model displaying the smallest residual error [3,4]. This approach aimed at optimizing the accuracy of the generated maps.

## 2.4 Study Site

### 2.4.1 Geographic Location

The Shmamis Plain, situated in the Tartous governorate, constitutes the focal point of this study. Positioned in the southeastern part of the coastal basin, east of Tartous city, it serves as a sub-basin between the Ghamka and Al-Abrash rivers.

### 2.4.2 Area and Aquifer Description

Encompassing an area of approximately 200 km<sup>2</sup>, the basin features a notable aquifer that extends across the study area. This section provides a brief description of the geographic and hydrogeological features essential for understanding the study site.

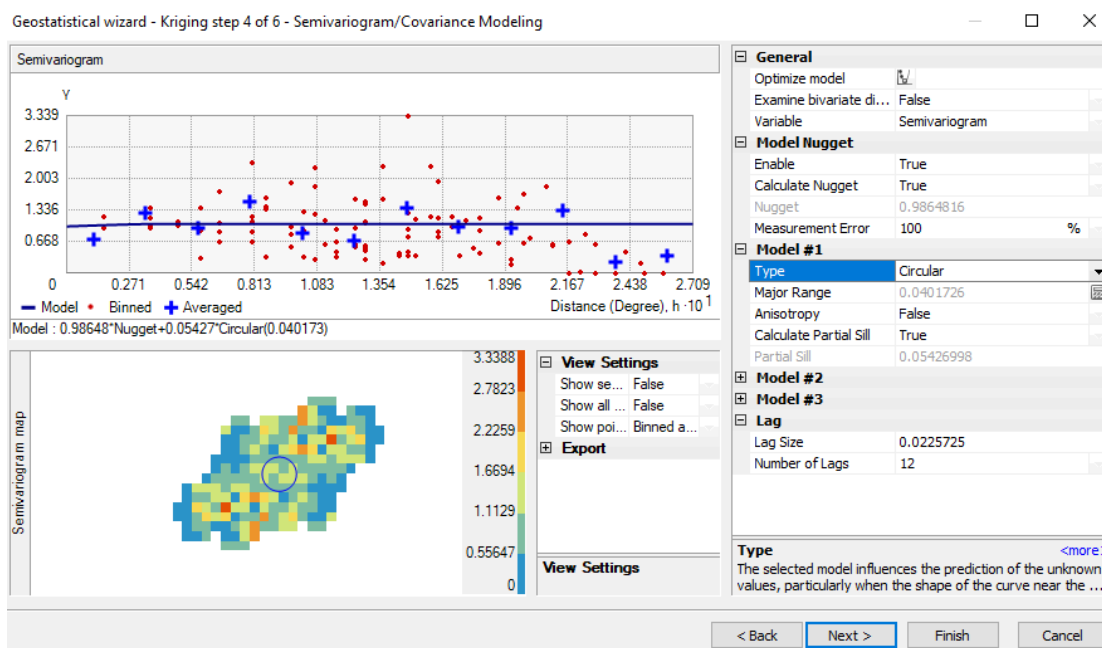
### 2.4.3 Well Selection

A total of 31 wells, meticulously documented by the Water Resources Directorate and Water Directorate in Tartous Governorate, were identified for sampling. These wells serve as crucial sources for assessing contamination levels and determining suitability for both drinking and irrigation purposes. The meticulous documentation ensures the reliability of the sampled data in subsequent analyses.

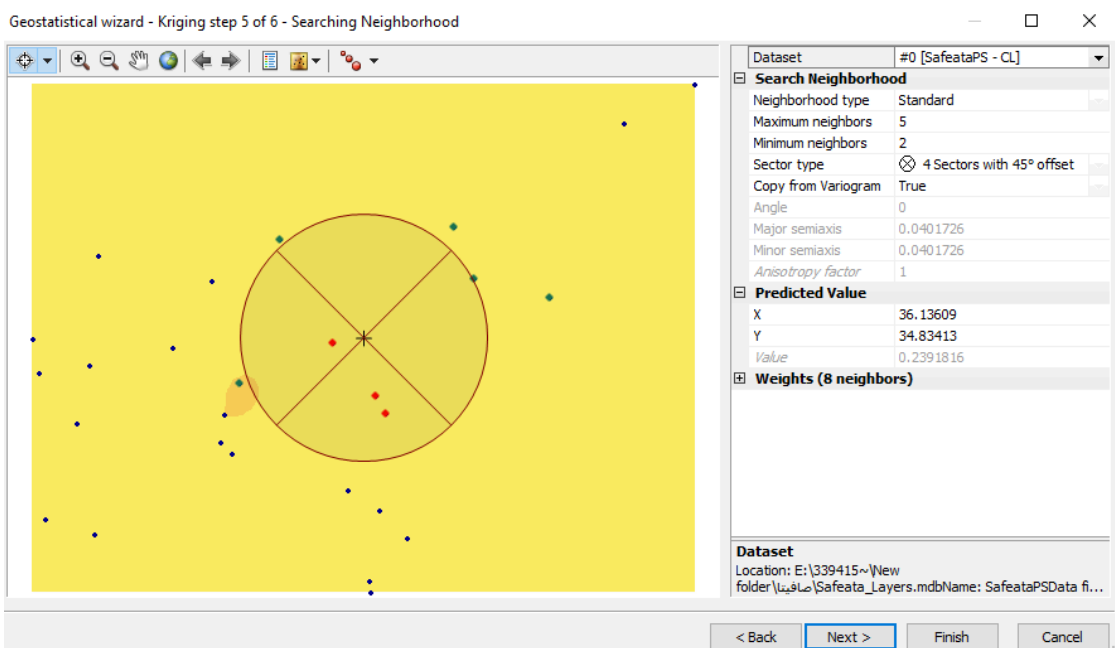
## 3. RESULTS AN DISCUSSION

### Chlorine Ionization in February 2021:

To assess the dynamics of chlorine ionization, a spherical function model was applied. Figure (1) illustrates the experimental half-difference model for chlorine ions in February 2021, utilizing Figure (2) to showcase the distribution of points and their calculated experimental half-differences for predicting unknown values.



**Figure 1:** The experimental half-difference model of the spherical function of the chlorine ion in February 2021.

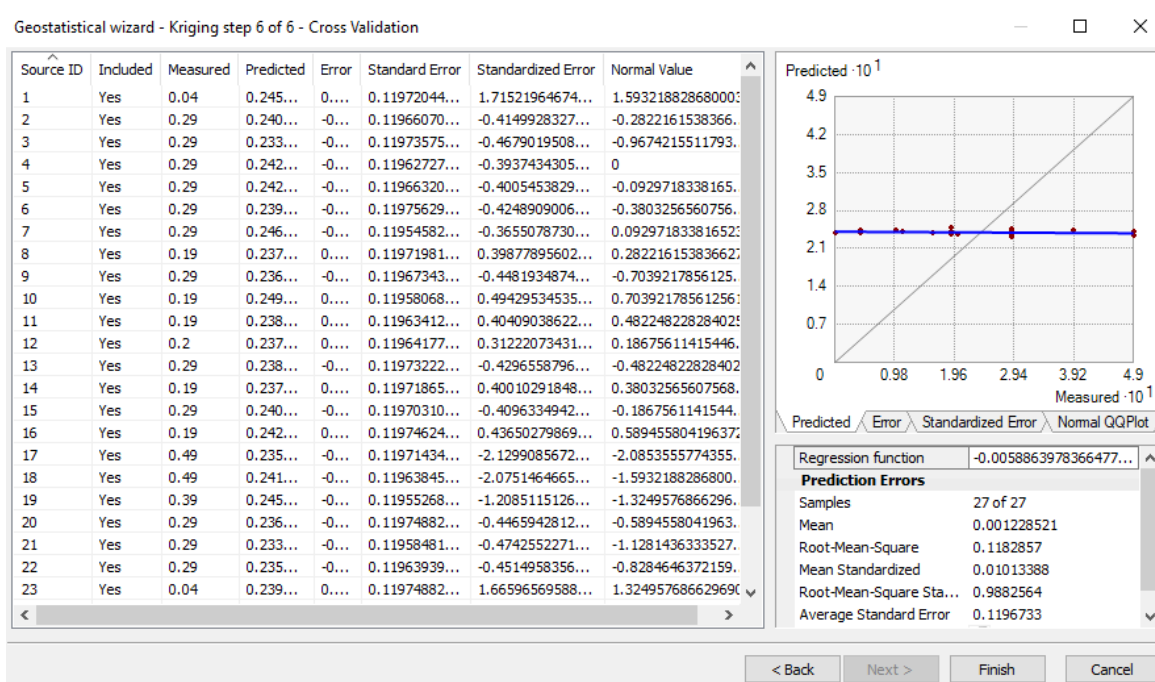


**Figure 2:** Using the points and their distribution to calculate half the experimental difference to predict the unknown values.

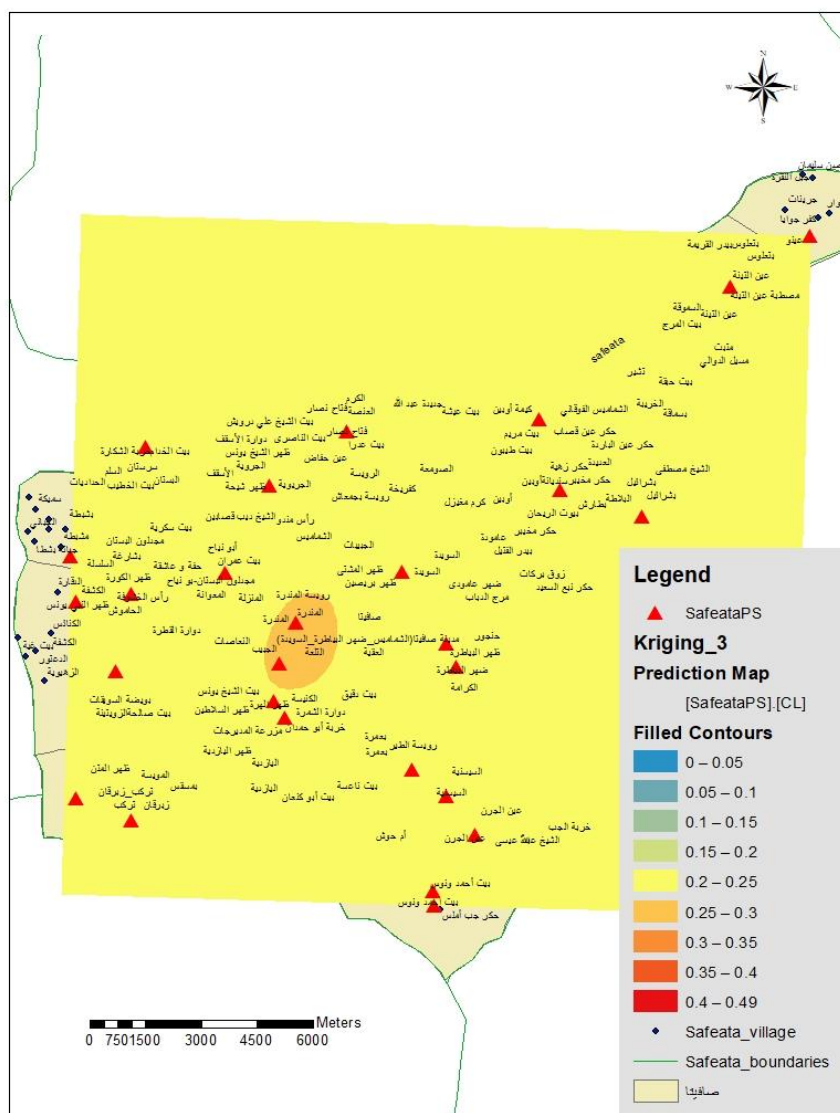
In-depth scrutiny of our data revealed critical insights into the accuracy of our models. Figure 3 elucidates the standard mean square error values associated with the applied method, revealing a precise measurement of 0.118. This metric underscores the reliability and precision of our model, offering a quantitative assessment of the predictive accuracy associated with our spherical function model for chlorine ions in February 2021.

Figure 4 further contributes to our scientific understanding by delineating the distribution of chlorine ions in the study area during February. The illustration highlights the efficacy of the spherical function within the Kriging method, providing a spatial representation of ion concentrations. This visual depiction not only enhances the comprehensibility of our findings but also serves as a critical component in validating the robustness of our multifaceted approach.

This amalgamation of statistical rigor, as evidenced by the mean square error values, and spatial representation through advanced methodologies like Kriging, establishes a formidable foundation for scientifically sound predictions and analyses within the parameters of our study. The integration of quantitative precision with spatial context ensures a holistic understanding of the distribution patterns of chlorine ions in our study area, thereby advancing the credibility and depth of our scientific inquiry.



**Figure 3:** The standard mean square error values for this method, which are 0.118.



**Figure 4:** shows the distribution of chlorine ion in the month of February in the study area using the spherical function of the KRIGING method.

The findings of our study reveal alarming concentrations of chlorine across the entirety of the study area, indicating a substantial increase in pollution levels. Consequently, the water extracted from these wells proves unsuitable for both drinking and irrigation purposes. This surge in pollution is attributed to the hydrogeological proximity of the aquifer to the Earth's surface, rendering it highly susceptible to contamination.

Notably, the chlorine parameter concentrations throughout the study area surpass the established Syrian standard limits. Furthermore, our observations suggest a potential eastward and northward expansion of this contamination if current pollution trends persist. Urgent and precise interventions are imperative to curtail and remediate this pollution, safeguarding the remaining unaffected areas. Implementing effective measures is paramount to restoring these wells to a state where they can once again provide safe drinking water and support agricultural irrigation.

In light of these results, the application of the spherical function has proven to be a valuable analytical tool. Its utilization enhances our ability to comprehend and quantify the spatial distribution of chlorine ions, aiding in the formulation of targeted strategies for pollution mitigation. As we navigate the challenges posed by heightened pollution, our study underscores the importance of proactive measures to ensure the restoration of these wells and the sustainability of water resources in the region.

### 3. CONCLUSION

The study found very high concentrations of chlorine across the entire study area, exceeding Syrian standard limits. This indicates the water pumped from these wells is unsuitable for drinking or irrigation. The pollution is likely due to the aquifer's proximity to the surface, making it vulnerable to contamination. Chlorine concentrations are expected to

continue increasing east and north with ongoing pollution. Urgent action is needed to halt this pollution and protect the remaining aquifer. The Kriging method accurately modeled chlorine distribution, demonstrating its usefulness for groundwater studies. In summary, rapid action must be taken to stop further pollution and treat affected wells so they can again provide safe drinking and irrigation water.

## Recommendations

- Establish a schedule to carry out chemical analyzes of groundwater in this area to study nitrate concentrations.
- Guide people in the area to use it proper (as drinking or irrigation water).
- develop a monitoring network for the sewage system in the Shammamis area to repair it and prevent leaks in the future.

## 6. REFERENCES

1. Al-Bonai J. Geographic from description to application. Kalimat Publishing & Distribution; 2016.
2. Al-fanatseh A, AL-Taani A. Spatial Analysis of Distribution of Mosques in Ma'an City Using GIS. *Journal of Al-Hussein Bin Talal University for Research*. 2017;3(2).
3. Fallahzadeh R, GHadirian D. Spatial Distribution, Health Risk Assessment and Survey of Fluoride Pollution Source with GIS in Drinking Water: A Case Study, in Abarkouh Iran. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*. 2018;3(2):496-503.
4. Al-Sulttani A, Al-Akaam I. Spatial Variation of Groundwater Suitability for Drinking and Irrigation by Using GIS - East of Tharthar Lake Iraq, A Case Study. *An-Najah University Journal for Humanities Research*. 32(7).
5. Naif A, Mhemeed F, Salih M. Spatial Analysis of wells in Baiji district using GIS. *Journal of Al-Frahedis Arts*. 2017;(29):240-256.
6. Directorate of Water Resources in Lattakia Governorate. *Hydrogeological Report of Jableh Plain*. 2002.
7. Al-Sammak M, Al-Azawi A. The Geographic Research Between Planning Approach, Quantitative Techniques, and Modern GIS Technologies. Ibn Al-Atheer for Publishing, Mosul University. 2008;161.
8. Al-Azawi A. Spatial Distribution Pattern of Settlement Centers in Mosul District. *Education and Science Magazine*. 2010;17(4):370.
9. Al-Azawi A. Statistical Analysis Using ARCGIS. 2012;720.
10. Al-Farooq A. Analyzing the Average Nearest Neighbor in Geographical Studies by Application in Human Settlements in Makkah. *Umm Al-Qura Magazine for Humanitarian Sciences*. 2009;156.



**How to cite this article: Ezzat Harba, and Nisreen, KHALLOUF. SPATIAL DISTRIBUTION OF CHLORIDE IONS IN GROUNDWATER USING KRIGING INTERPOLATION: A CASE STUDY IN AL-SHAMMIS, SYRIA. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4): 312-316. DOI: 10.5281/ZENODO.10041607**

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



# ROLE OF MARSUPIALIZATION IN MANAGEMENT OF PEDIATRIC ODONTOGENIC CYSTS: TWO CASE REPORTS



| Fatima Zahra, Kaiss <sup>1\*</sup> | Maria, Mtalsi <sup>1</sup> | and | Samira, El Arabi <sup>1</sup> |

<sup>1</sup> Dentistry faculty | Hassan 2 university | Pediatric odontology department | Casablanca | Morocco |

| DOI: 10.5281/zenodo.10050849 | Received September 23, 2023 | Accepted October 24, 2023 | Published October 29, 2023 | ID Article | Fatima-Ref2-4-17ajiras231023 |

## RESUME

**Introduction:** Marsupialization is a conservative approach used for the treatment of large odontogenic cysts. In children, it aims to preserve and promote eruption of the tooth germs involved in the cystic lesion, as well as maintain the integrity of surrounding anatomical structures. **Objective:** The aim of this study was to illustrate the importance of marsupialization in the treatment of odontogenic cysts in children, through a case report of two clinical cases. **Case report:** We report the cases of two odontogenic cysts treated by marsupialization in two children consulting the pediatric odontology department of the dental consultation and treatment center in Casablanca, Morocco. The first case involved a 9-year-old boy consulting for facial asymmetry associated with a left latero-mandibular mass. The second case involved a 7-year-old girl who presented with a median maxillary bone swelling, slightly deported to the left side. Both patients presented odontogenic cysts and were treated by marsupialization. **Discussion:** Both patients showed a good clinical and radiological evolution with the resolution of the cystic lesion and the eruption of teeth involved in it. **Conclusion:** Despite the variability of therapies proposed for odontogenic cyst treatment, marsupialization remains a therapeutic option, requiring careful patient selection and long, rigorous follow-up, but offering several advantages, particularly for children. **Keywords:** odontogenic cyst, marsupialization, pediatric dentistry.

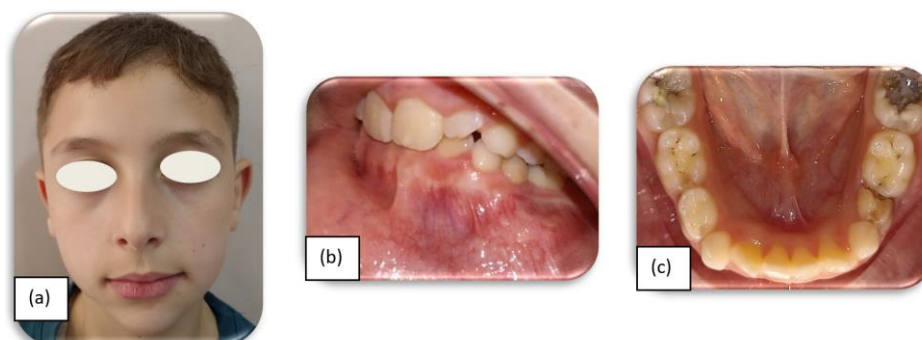
## 1. INTRODUCTION

A cyst, defined as a pathological cavity containing liquid, semiliquid, or gas and not formed by pus accumulation [1], often arises from developing dental tissues in the form of odontogenic cysts, constituting approximately 90% of maxillary cysts [1,2]. These cysts can be categorized as either inflammatory or developmental. While various treatment options exist for odontogenic cysts, marsupialization emerges as a surgical technique particularly recommended for large cysts. This conservative approach is designed to not only address the cyst itself but also to preserve and encourage the eruption of tooth germs associated with the cystic lesion, while maintaining the structural integrity of surrounding anatomical features. Despite its merits, one notable drawback of marsupialization is the inherent limitation in performing a comprehensive anatomopathological examination, hindering the ability to establish a precise diagnosis of the lesion [3]. In the pursuit of advancing our understanding and clinical application of marsupialization, this study aims to underscore the significance of this technique in the treatment of odontogenic cysts in pediatric cases. To achieve this, we present and analyze two clinical cases managed within the pediatric odontology department of the dental consultation and treatment center of Casablanca. Through these cases, we aim to contribute valuable insights into the efficacy and considerations associated with marsupialization as a treatment modality for odontogenic cysts in children.

## 2. Case report

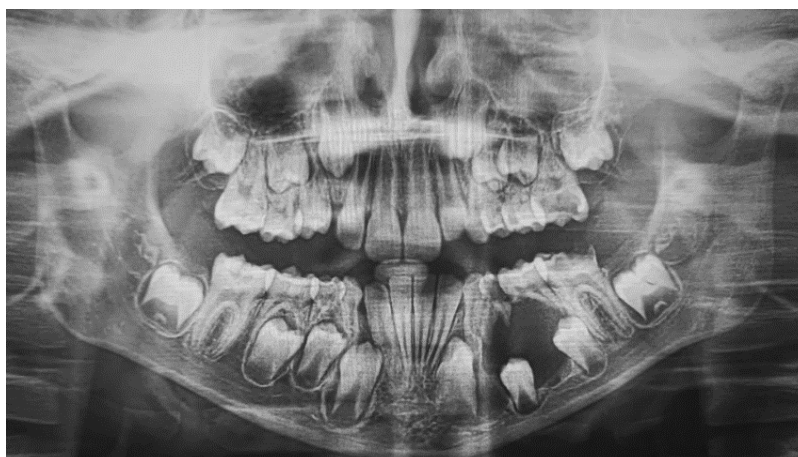
### 2.1 Case 1

A 9-year-old child in apparently good general condition presented to the pediatric odontology department of the dental consultation and treatment center of Casablanca, after the appearance of a left mandibular swelling 3 months before the consultation. On intraoral examination, a hard, painless, non-fistulized, non-fluctuating, limited vestibular tumefaction extending from 73 to 36 and associated with filling of the vestibule was observed. The two teeth bordering the swelling (36 and 74) showed deep caries. (Figure 1).



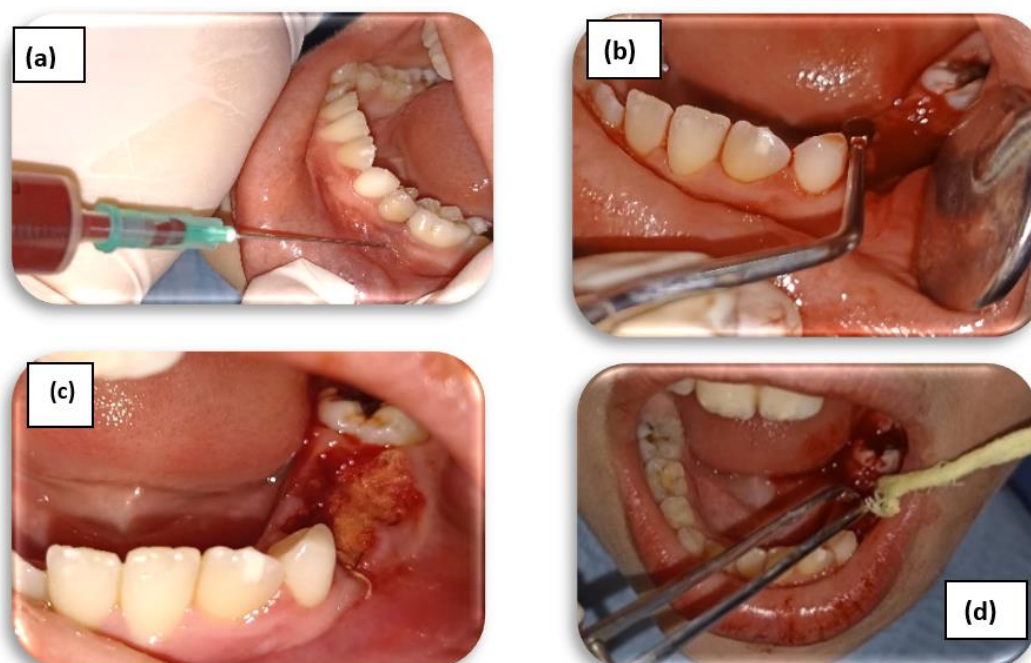
**Figure 1 :** Clinical examination (a) exobuccal view showing left mandibular swelling, (b) endobuccal view showing vestibular voussure, (c) Mandibular view showing caries on 36 et 74.

Panoramic radiography showed a well-limited, unilobulated radiolucency extending from 74 to 75, incorporating the germs of 34 and 35. 74 and 75 were in physiological stage III. Pathological root resorption of the distal root of 75 is evident, as are deep coronal radiolucency's on 74 and 36. (Figure 2)



**Figure 2:** Radiological examination : Panoramic radiography showing the lesions' limits.

After discussion with the parents, treatment by marsupialization was chosen. After anesthesia and aspiration of a cystic fluid, 74 and 75 were extracted, a part of the cystic tissue was removed and an iodoform mesh was put in place. The mesh was changed twice a week for the first 2 weeks, and then once a week for the following 3 weeks, until lesion reossification. (Figure 3)

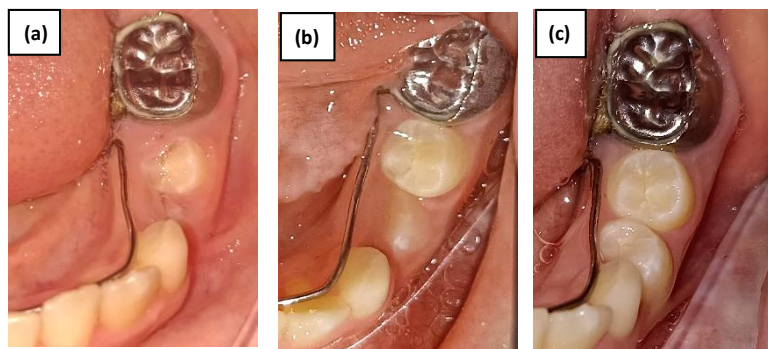


**Figure 3:** Marsupialization steps (a) puncture of the lesion at the most prominent point to recover cystic fluid, (b) removal of the cystic wall after extraction of 74 and 75, (c) insertion of an iodoformed mesh, (d) replacement of the mesh.

To maintain the space needed for eruption of 34 and 35, a lingual arc was placed after treatment of 36. (Figure 4) The anatomopathological examination result was in favor of a follicular cyst. After 8 months of treatment, 35 had almost completed its eruption. At one-year follow-up, the two premolars (34 and 35) had completed their eruption, and total reossification of the lesion was observed (Figure5-6).

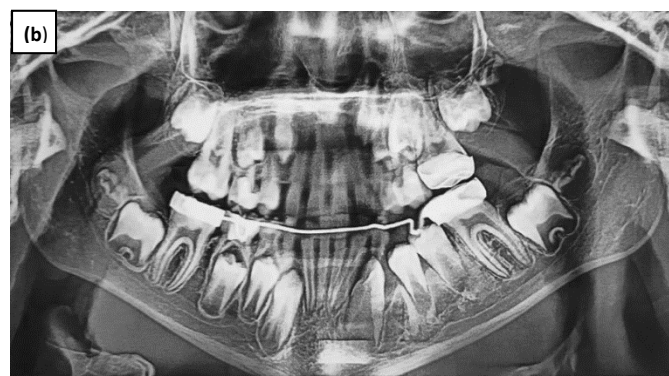
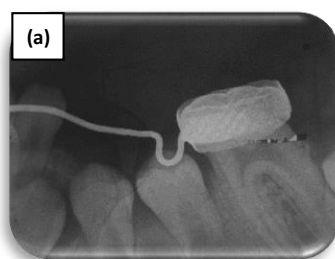


**Figure 4:** The space maintainer.



**Figure 5:** Clinical follow-up showing eruption of 34 and 35, (a) after 5 months of treatment (b) after 8 months, (c) one year later.

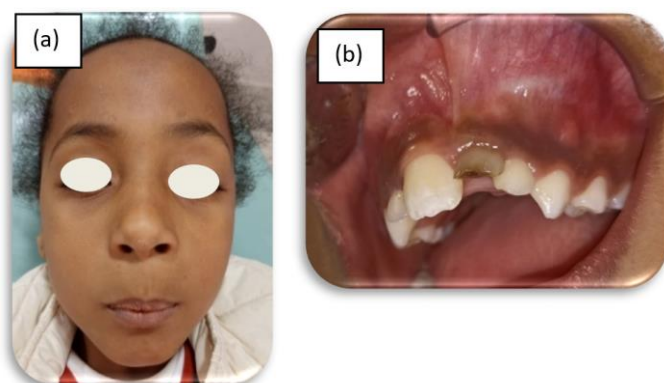
**Figure 6:** Radiological follow-up showing bone reossification of the lesion, (a) retroalveolar taken after 4 months of treatment (b) panoramic taken 6 months after the surgery.



## 2.2 Case 2

A 7-year-old female patient in apparently good general condition consulted the pediatric odontology department one month after the appearance of a maxillary tumefaction, slightly displaced toward the left side. The father had reported a notion of trauma at the age of 3.

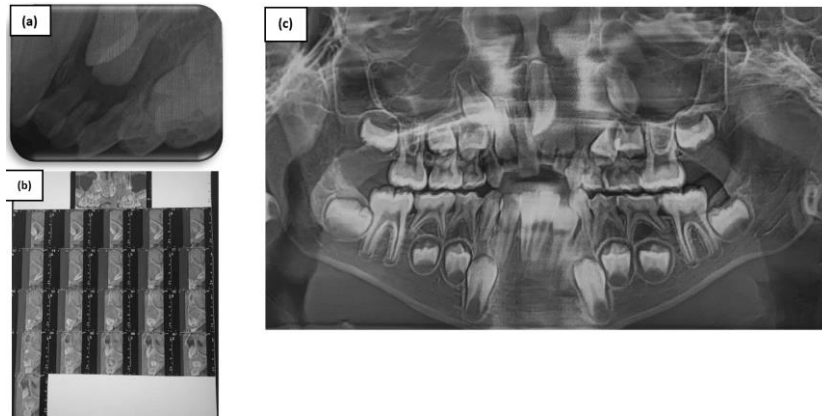
Endo buccal examination revealed a hard, non-fistulized, non-fluctuating vestibular swelling extending from 61 to 64 and associated with filling of the vestibule. The gingival mucosa around the swollen area was normal, with no pain on palpation. 61 is dyschromic and shows coronal loss of substance (Figure 7).



**Figure 7.** Clinical examination, (a) exobuccal view showing the upper left labial swelling, (b) endobuccal view showing the vestibular voussure, 61 is fractured and dyschromic.

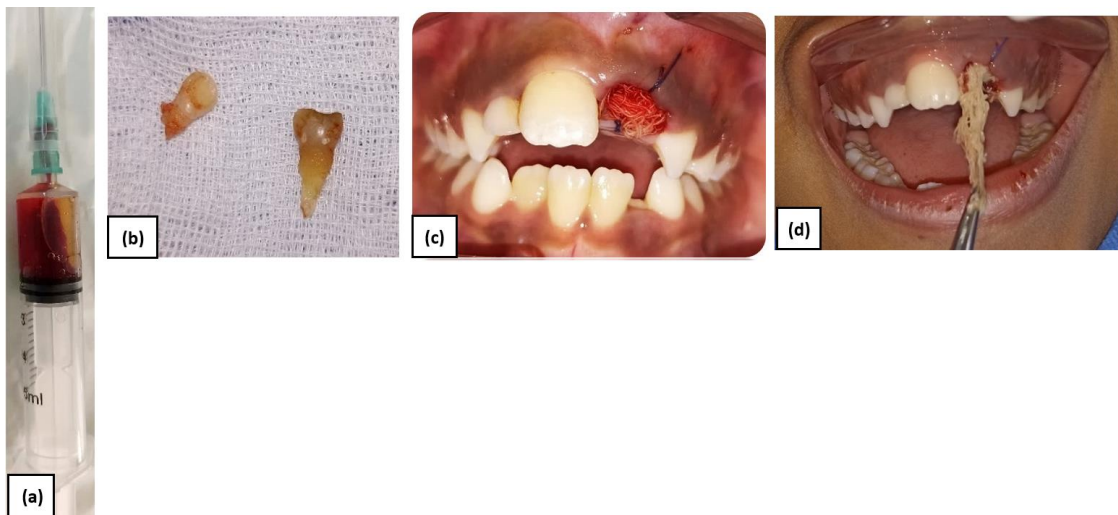
On retro alveolar radiography, a well-limited, unilobulated radiolucent image extending from 61 to 63 was observed. It is related to the amelo-cementary junction of the germ of 22 and abuts the apex of 61 as well. 61, 62 and 63 are in physiological stage III. On panoramic radiography, a cystic-like image with blurred margins is revealed, and the 21 and 23 germs are pushed back. The cone beam shows the lesion's limits, volume, and relation with surrounding anatomical structures (Figure 8).

On retro alveolar radiography, a well-limited, unilobulated radiolucent image extending from 61 to 63 was observed. It is related to the amelo-cementary junction of the germ of 22 and abuts the apex of 61 as well. 61, 62 and 63 are in physiological stage III. On panoramic radiography, a cystic-like image with blurred margins is revealed, and the 21 and 23 germs are pushed back. The cone beam shows the lesion's limits, volume, and relation with surrounding anatomical structures (Figure 8).



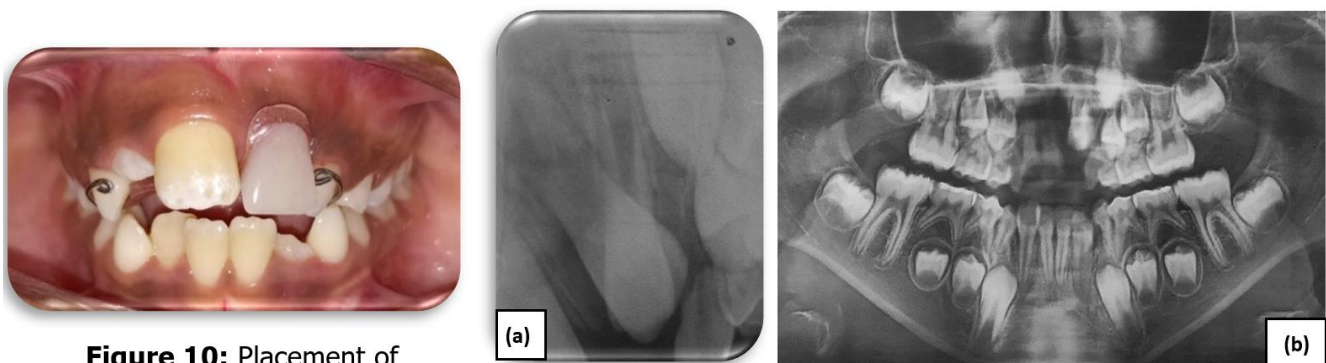
**Figure 8.** Radiological examination, (a) retroalveolar showing a well-limited radiolucent image, (b) cone beam exposing the limits of the lesion and the rapport with adjacent structures, (c) panoramic radiography showing the germ replacement of the 21 et 23.

Clinical and radiological findings suggested the diagnosis of an odontogenic cyst (radicular or follicular). Treatment of the lesion by marsupialization was selected, given the proximity of the lesion to the germs of adjacent teeth, and the procedure was identical to that used in the first case (Figure 9)



**Figure 9.** Marsupialization steps, (a) Collection of a yellowish liquid suggestive of a cystic lesion (b) extraction of 61, 62, (c) Placement of two sutures on each side of the alveolus + placement of iodoformed mesh after rinsing the cavity, (d) replacement of the mesh.

The result of the anatomopathological examination was inconclusive due to the minimal size of the sample obtained. A pedodontics partial denture was placed to maintain the eruption space for 21 and 22 (Figure 10). Radiological follow-up showed reossification of the lesion six months later. 9 months after the treatment, 22 had erupted in place of 21 (Figure 11-12).

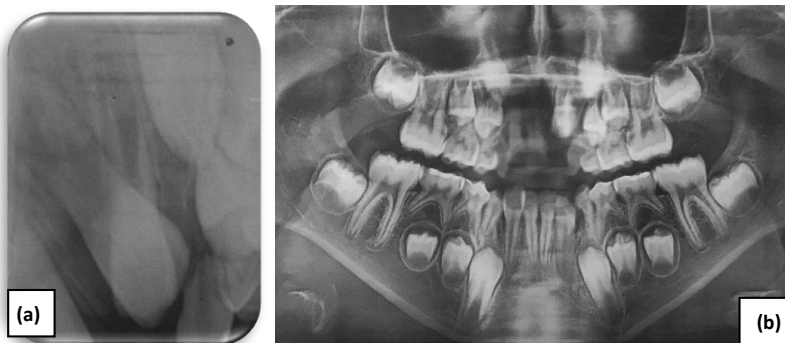


**Figure 10:** Placement of pedodontic prosthesis.

**Figure 11.** Radiological follow-up after 6 months showing bone reossification + disappearance of the lesion (a) retroalveolar radiography, (b) panoramic radiography.



**Figure 10:** Placement of pedodontic prosthesis.



**Figure 11.** Radiological follow-up after 6 months showing bone reossification + disappearance of the lesion (a) retroalveolar radiography, (b) panoramic radiography.

Tooth bone palatal device was placed to allow expansion of the maxilla and create space for eruption of 21, 22 and before starting multi-attachment treatment. (Figure 13), 18 months after the surgery, we observe the eruption of both incisors (21 and 22) but superposed on each other (Figure 14).



**Figure 12.** Clinical follow-up, 9 months after the treatment showing the eruption of 22.



**Figure 13.** Placement of a tooth palatal device for maxillary expansion.



**Figure 14.** Eruption of 21 and 22, 18 months after the surgery.

### 3. DISCUSSION

Despite the clinical and radiological diversity observed in maxillary cysts, a unified approach centers around timely surgical intervention. The primary therapeutic options include cystectomy (enucleation) and cystotomy (decompression or marsupialization), with the potential for a combined approach in specific cases [4]. In the realm of pediatric practice, marsupialization emerges as the preferred treatment for sizable odontogenic cysts. Originating in 1892 through the work of PARTCh, this procedure involves creating a bony window, partially resecting the cystic sac, evacuating its contents, and maintaining an open connection to the buccal mucosa. Suturing the residual components to the mucosa prevents closure, transforming the cystic cavity into an adjunct to the buccal cavity. This arrangement facilitates permanent drainage, fostering cyst regression and bone regeneration [5,6]. Despite the efficacy of this approach, histopathological analysis through partial sampling of the cystic wall remains essential for accurate characterization [7].

The postoperative course necessitates vigilant clinical and radiological monitoring. Short-term assessments verify the cavity's patency, integrity of the retained device (iodoformed mesh), and absence of signs of infection. Mid-term evaluations track lesion evolution, cystic volume reduction, bone regeneration, and tooth placement on the dental arcade. Long-term follow-up ensures the absence of recurrences [8].

The frequency of clinical follow-up adapts to the lesion's size and patient availability. Mesh changes, typically weekly for 3 to 6 weeks, involve prior rinsing with a disinfectant or saline solution. General postoperative clinical controls occur biweekly for the initial 2 months, followed by monthly checks for a year, and subsequently every 3 years [8].

Radiological follow-up is critical for assessing post-surgical bone defects, proximity to adjacent structures, and the need for secondary enucleation. Intervals of three months for the first six months, followed by semiannual assessments until complete resolution, guide this process. Bone regeneration in the presented cases manifested after 4 and 6 months, respectively [9].

Marsupialization aims to diminish cyst volume and stimulate peripheral bone formation, preserving dental organs and their pulpal vitality. Despite its advantages, drawbacks include limited anatomopathological examination and potential recurrence risks. The prolonged process demands regular follow-up and strong patient cooperation, making it suitable for extensive cysts involving anatomical and dental structures [10,11].

The efficacy of marsupialization remains contentious. Berretta et al's systematic review leans towards its use as a preliminary treatment, often followed by secondary enucleation. Younger subjects and larger lesions exhibit more favorable outcomes [12]. Conversely, Pogrel et al advocate marsupialization as a standalone definitive treatment, with

complete resolution observed in all 10 patients over varying time frames [13,14]. Consolo et al report significant volume reduction, ranging from 48.28 to 57.95% after approximately 6 months, reaching 70.5% for dental cysts after 8 months [15]. As an alternative for pediatric odontogenic cysts, enucleation involves excising the cystic sac within defined limits, ensuring complete histological control in a single surgical procedure. While offering advantages such as histological certainty and reduced need for rigorous follow-up, it poses risks like tissue loss and potential complications (e.g., nerve damage or mandibular fractures). The comparative presentation in Table 1 delineates the features of both treatment options.

**Table 1:** Comparison between marsupialization and enucleation.

	Marsupialization	Enucleation
Removal of the cystic sac	Partial	Total
Histological examination	Partial	Total
Tissue conservation	Yes	No
Nerve injury	No	Possible
Complications	Minimal	Possible
Anesthesia type	Locoregional	Locoregional or general
Patient cooperation and follow-up	Yes	Minimal

## 5. CONCLUSION

Notwithstanding its drawbacks, marsupialization demonstrates efficacy in the therapeutic approach to pediatric odontogenic cysts. As a conservative technique, it upholds the integrity of essential anatomical structures and facilitates the emergence of tooth germs typically suppressed by the cystic lesion. However, prudent patient selection is imperative before recommending the procedure, necessitating a comprehensive discussion with parents regarding the nuanced advantages and disadvantages associated with the intervention.

## 6. REFERENCES

- Hc L, Paul M, Speight M. Odontogenic cysts: an update.
- Rioux-Forker D, Deziel AC, Williams LS, Muzaffar AR. Odontogenic Cysts and Tumors. Vol. 82, *Annals of Plastic Surgery*. Lippincott Williams and Wilkins; 2019. p. 469–77.
- MILIN C. Diagnostic et traitement d'un volumineux kyste dentigère de l'enfant par marsupialisation. 2012.
- Horch HH. Kystes de la sphère bucco-maxillo-faciale. Chirurgie buccale. Paris: Masson 1996. p. 183-219.
- Malik NA. Textbook of Oral and Maxillofacial Surgery. New Deal Brothers Publishers 2008;840 p.
- Hupp JR, Tucker MR, Ellis E. Contemporary oral and maxillofacial surgery. P.686.
- Iatrou I, Theologie-Lygidakis N, Leventis M. Intraosseous cystic lesions of the jaws in children: A retrospective analysis of 47 consecutive cases. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2009 Apr 1;107(4):485–92.
- Allon DM, Allon I, Anavi Y, Kaplan I, Chaushu G. Decompression as a Treatment of Odontogenic Cystic Lesions in Children. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2015 Apr 1;73(4):649–54.
- Anavi Y, Gal G, Miron H, Calderon S, Allon DM. Decompression of odontogenic cystic lesions: Clinical long-term study of 73 cases. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology* [Internet]. 2011 Aug 1;112(2):164–9. [Cited 2023 Oct 28] Available from:
- Güven Y, Kasimoglu Y, Soluk Tekkesin M, Ulug D, Cankaya AB, Tuna EB, et al. Preservation of Involved Teeth Associated with Large Dentigerous Cysts. *Int Sch Res Notices*. 2014 Oct 28;2014:1–5.
- Tayşi M, Özden C, Çankaya AB, Yıldırım S, Bilgiç L. Conservative approach to a large dentigerous cyst in an 11 year old patient. *J Istanbul Univ Fac Dent*. 2016 Oct 3;50(3).
- Berretta LM, Melo G, Mello FW, Lizio G, Rivero ERC. Effectiveness of marsupialisation and decompression on the reduction of cystic jaw lesions: a systematic review. Vol. 59, *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. Churchill Livingstone; 2021. p. E17–42.
- Pogrel MA, Jordan RCK. Marsupialization as a definitive treatment for the odontogenic keratocyst (Partial retraction in: *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* (2007) 65:2 (362-363)). *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. 2004 Jun 1 62(6):651–5. [cited 2023 Oct 28]; Available from: <http://www.joms.org/article/S0278239104001260/fulltext>
- Pogrel MA. Treatment of keratocysts: The case for decompression and marsupialization. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. 2005 Nov 1 [cited 2023 Oct 28];63(11):1667–73.
- Consolo U, Bellini P, Melini GM, Ferri A, Lizio G. Analysis of Marsupialization of Mandibular Cysts in Improving the Healing of Related Bone Defects. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2020 Aug 1;78(8):1355.e1-1355.e11.
- Ruhin B, Guilbert F, Bertrand JC. Traitement des kystes, tumeurs et pseudotumeurs bénignes des maxillaires. *Emc - Stomatologie*. 2005;1(1):42–59.



How to cite this article: Kaiss Fatima zahra, Mtalsi Maria, and El Arabi Samira. **ROLE OF MARSUPIALIZATION IN MANAGEMENT OF PEDIATRIC ODONTOGENIC CYSTS: TWO CASE REPORTS.** *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4): 317-322. DOI: 10.5281/zenodo.10050849

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

# EFFETS DU BIOCHAR DE RÉSIDUS D'ANACARDE SUR LA PRODUCTIVITÉ DE LA CULTURE DE LUFFA AU NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE



EFFECTS OF CASHEW NUT RESIDUE BIOCHAR ON LUFFA PRODUCTIVITY IN NORTHERN COTE D'IVOIRE

| Jean-Baptiste Gnélié Gnahoua | Marie-Luce Mâ Semba Ouattara | Zonlehoua Coulibali \* | N'Djehi Benian Françoise Kablan | and | Loua Barthélémy Diomandé |

Université Péléforo Gon Coulibaly | Institut de Gestion Agropastorale | Laboratoire des Sciences de la Terre, de l'Eau et de l'Environnement | Korhogo | Côte d'Ivoire |

DOI: 10.5281/zenodo.10051164 | Received September 24, 2023 | Accepted October 25, 2023 | Published October 31, 2023 | ID Article | Gnahoua-Ref6-4-17ajiras241023 |

## RESUME

**Contexte** : La culture du luffa (*Luffa cylindrica*) est pratiquée dans la région Nord de la Côte d'Ivoire, selon des systèmes extensifs. La production est entravée par la faible fertilité des sols et le manque, voire la faible utilisation, de fertilisants. **Objectif** : L'objectif de la recherche était d'évaluer l'impact du biochar issu de résidus d'anacarde sur la productivité de la culture en vue d'une valorisation de cette bio-ressource. **Méthodes** : Quatre traitements ont été comparés dans un dispositif en bloc de Fisher avec trois répétitions : 1) témoin sans fertilisant, 2) biochar de résidus d'anacarde, 3) dose normale d'engrais minéral (NPK, urée) et 4) biochar + demi-dose d'engrais minéral. Les variables mesurées incluaient la hauteur des plants, le nombre de fruits par plant, le poids des fruits par plant et le rendement. **Résultats** : Les résultats ont révélé un effet inhibiteur du biochar sur la croissance et le rendement du luffa. L'application de doses modérées d'engrais minéral en combinaison avec le biochar s'est avérée bénéfique pour accroître le rendement de la culture. Les rendements obtenus pour les différents traitements étaient respectivement de  $5,66 \pm 0,98$ ,  $3,38 \pm 0,66$ ,  $8,81 \pm 0,45$  et  $9,20 \pm 0,24$  t/ha pour les traitements témoin, biochar, engrais minéral et biochar + engrais minéral. **Conclusion** : L'application du biochar issu de résidus d'anacarde par les agriculteurs, sans ajout minimal d'engrais, pourrait constituer un obstacle à l'intensification durable des cultures. La réaction des différentes cultures à l'application du biochar mérite d'être évaluée en vue d'une meilleure valorisation de ces bio-ressources en production agricole.

**Mots-clés** : *Luffa cylindrica*, Biofertilisant, *Anacardium occidentale*, Côte d'Ivoire.

## ABSTRACT

**Context**: The cultivation of luffa (*Luffa cylindrica*) is practiced in the Northern region of Côte d'Ivoire, using extensive farming systems. Production is hampered by low soil fertility and the absence or limited application of fertilizers. **Objective**: The research aimed to assess the impact of cashew residue-derived biochar on the productivity of luffa cultivation for the valorization of this bio-resource. **Methods**: Four treatments were compared in a Fisher block design with three repetitions: 1) control without fertilizer, 2) cashew residue-derived biochar, 3) normal dose of mineral fertilizer (NPK, urea), and 4) biochar + half-dose of mineral fertilizer. Measured variables included plant height, number of fruits per plant, fruit weight per plant, and yield. **Results**: The findings indicated an inhibitory effect of biochar on the growth and yield of luffa. The application of moderate doses of mineral fertilizer in combination with biochar proved beneficial in increasing crop yield. Yields obtained for different treatments were  $5.66 \pm 0.98$ ,  $3.38 \pm 0.66$ ,  $8.81 \pm 0.45$ , and  $9.20 \pm 0.24$  t/ha, respectively, for control, biochar, mineral fertilizer, and biochar + mineral fertilizer treatments. **Conclusion**: The application of cashew residue-derived biochar by farmers without minimal addition of fertilizer could pose a challenge to the sustainable intensification of crops. The response of different crops to biochar application deserves evaluation for a better utilization of these bio-resources in agricultural production.

**Keywords**: *Luffa cylindrica*, Biofertilizer, *Anacardium occidentale*, Côte d'Ivoire.

## 1. INTRODUCTION

La famille des cucurbitacées englobe diverses espèces végétales, parmi lesquelles figure le luffa (*Luffa cylindrica*), également connu sous le nom d'éponge végétale [1]. Le luffa est cultivé dans plusieurs régions tropicales du monde, principalement en raison de son fruit comestible [2]. Du point de vue botanique, cette plante est décrite comme une espèce herbacée annuelle, grimpante et monoïque, se reproduisant par pollinisation croisée [3]. Les fruits de luffa sont largement consommés comme légumes dans diverses régions du monde, tandis qu'en Afrique, ses feuilles sont aussi utilisées dans la médecine traditionnelle pour traiter des affections humaines telles que les hémorroïdes et l'asthme [4-7]. La culture du luffa est principalement confinée aux zones côtières et aux régions de savane demi-sèche [8].

En Côte d'Ivoire, bien que la culture du luffa contribue de manière significative au bien-être social des agriculteurs, sa productivité est fortement entravée par des contraintes biophysiques, notamment les pressions parasitaires, la faible fertilité des sols et la variabilité pluviométrique [9, 10]. Les obstacles sociaux limitant la productivité comprennent l'absence de variétés améliorées, l'inaccessibilité ou le coût élevé des engrais minéraux, l'exploitation de sols non réceptifs aux engrais chimiques et l'inadéquation des itinéraires techniques [11-13]. Actuellement, les agriculteurs cultivent le luffa, encore

considéré comme une culture mineure, dans des systèmes extensifs sans l'apport de fertilisants. En général, l'absence ou l'application non raisonnée des engrais chimiques conduit à des rendements médiocres [14].

Pour intensifier la culture dans ces conditions, il serait opportun d'envisager l'utilisation de biofertilisants tels que les résidus de légumineuses, le compost, le purin et le biochar, en substitution ou en complément des engrais minéraux. Cette approche, associée à une gestion efficace des ressources, pourrait constituer une alternative adaptée aux conditions socio-économiques des exploitants agricoles à faibles revenus, favorisant ainsi une intensification agricole durable [13, 15].

La zone Nord de la Côte d'Ivoire, caractérisée par une forte production d'anacarde, offre une opportunité prometteuse pour valoriser les résidus disponibles en vue de produire des biofertilisants. Toutefois, les études sur l'utilisation des résidus d'anacarde en production agricole demeurent insuffisamment documentées. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact du biochar issu de résidus d'anacarde sur la productivité de la culture de luffa.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude était représenté par l'espèce *Luffa cylindrica*, spécifiquement cultivée localement en raison de son fruit comestible.

### 2.2 Matériel technique

Le matériel technique englobait l'outillage agricole nécessaire pour les travaux manuels, ainsi qu'un pyrolyseur traditionnel, utilisé pour la production du biochar.

### 2.3 Matériel fertilisant

Les fertilisants appliqués dans l'expérimentation étaient constitués de biochar issu de résidus d'anacarde, d'un engrais minéral composé de NPK 10-12-32 + 3 (MgO) + 17 (SO<sub>3</sub>), et d'urée 15,5-0-0 + 26,3 (CaO).

Informations additionnelles sur les fertilisants utilisés :

Le biochar de résidus d'anacarde a été produit à l'aide du pyrolyseur traditionnel, garantissant une source organique spécifique.

L'engrais minéral a été appliqué à des doses conventionnelles, comprenant 300 kg/ha de NPK (10-12-32 + 3 (MgO) + 17 (SO<sub>3</sub>)) et 60 kg/ha d'urée (15,5-0-0 + 26,3 (CaO)).

### 2.4 Préparation de la parcelle

Avant le début de l'expérimentation, le sol a été labouré manuellement après le défrichement de la parcelle. Des planches de dimensions précises (1 m x 1,5 m) ont été créées et équipées de supports pour assurer le tuteurage des plants.

### 2.5 Dispositif expérimental

L'expérimentation a été menée selon un dispositif en blocs de Fisher, comprenant quatre traitements distincts et trois répétitions. Les traitements évalués étaient les suivants :

- Témoin (sans fertilisant),
- Biochar de résidus d'anacarde,
- Dose conventionnelle d'engrais minéral,
- Biochar + demi-dose d'engrais minéral.

La dose conventionnelle d'engrais minéral a été précisée, consistant en 300 kg/ha de NPK (10-12-32 + 3 (MgO) + 17 (SO<sub>3</sub>)) et 60 kg/ha d'urée (15,5-0-0 + 26,3 (CaO)). Chaque traitement a été assigné à une planche de dimension 1 m x 1,5 m, espacée de 1 m, formant ainsi un bloc de 1 m x 9 m. La superficie totale de l'essai était de 6 m x 9 m (54 m<sup>2</sup>). Deux graines de luffa ont été semées par poquet sur chaque planche, avec un espacement de 0,5 m entre les poquets.

### 2.6 Application des traitements

Le biochar a été appliqué à 3,5 tonnes par hectare (1 kg par planche). La fumure minérale a été appliquée à 135 g NPK et 37,5 g d'urée par planche pour la dose conventionnelle, versus 67,5 g NPK et 18,5 g d'urée pour la demi-dose d'engrais minéral.

### 2.7 Observations et mesures

Les observations ont porté sur la hauteur des plants, le nombre de fruits par plant, le poids moyen des fruits et le rendement de la culture.



## 2.7 Traitement des données

Les données collectées ont été soumises à une analyse statistique à l'aide du logiciel SPSS (Statistical Package for Social sciences, version 20.0). L'analyse de variance à un facteur a été effectuée au seuil  $\alpha = 0,05$ , pour déterminer l'effet des traitements pour chaque paramètre agronomique. Les comparaisons des moyennes par paires ont été réalisées au moyen du test de Student, Newman et Keuls.

## 3. RESULTS

### 3.1 Effet des fertilisants sur la hauteur des plants

La hauteur moyenne des plants pour les divers traitements est répertoriée dans le tableau 1. L'analyse de la variance a révélé des différences hautement significatives ( $p$ -valeur = 0.000) quant à l'impact des traitements sur la hauteur des plants. Les traitements associés au biochar, combiné à une demi-dose d'engrais minéral ( $96,67 \pm 18,9$  cm) et à la dose conventionnelle d'engrais minéral ( $83,00 \pm 12,11$  cm), ont présenté les hauteurs les plus élevées. En revanche, le traitement exclusivement au biochar, sans complément d'engrais minéral, a enregistré la plus faible valeur de hauteur ( $22,67 \pm 5,77$  cm). La figure 1 illustre visuellement la croissance des plants pour chaque traitement à un mois du stade végétatif.

**Tableau 1** : Hauteur moyenne (cm) des plants en fonction des traitements appliqués.

Traitements	Hauteur des plants*
Témoin sans fertilisant	$45,00 \pm 4,58$ <b>b</b>
Biochar	$22,67 \pm 5,77$ <b>c</b>
Engrais minéral	$96,67 \pm 18,90$ <b>a</b>
Biochar + demi-dose engrais minéral	$83,00 \pm 12,11$ <b>a</b>
Moyennes	$61,83 \pm 32,41$
Probabilité	0,000
Signification	HS

\* Les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha = 0.05$  ; **HS** : Hautement significative.



**a.** Dose conventionnelle engrais minéral



**b.** Biochar de résidus d'anacarde



**c.** Sans fertilisant (témoin)



**d.** Biochar + engrais minéral

**Figure 1** : Plant de luffa (*Luffa cylindrica*) à 1 mois de développement végétatif

### 3.2 Effet des fertilisants sur le nombre de fruits par plant

Le nombre de fruits par plant pour les divers traitements est résumé dans le tableau 2. L'analyse de la variance a mis en évidence des différences hautement significatives ( $p$ -valeur = 0,000) quant à l'influence des traitements sur le nombre de fruits par plant. Le traitement appliquant la dose conventionnelle d'engrais minéral a enregistré le nombre de fruits le plus élevé, avec une valeur de  $11,00 \pm 1,00$  fruits par plant. Ce traitement a été suivi de près par le biochar + demi-dose d'engrais minéral et le témoin (sans fertilisant). La valeur la plus basse a été observée avec le traitement utilisant uniquement le biochar, sans l'ajout d'engrais minéral, obtenant ainsi  $3,33 \pm 0,58$  fruits par plant.

**Tableau 2** : Nombre de fruits par plant en fonction des traitements.

Traitements	Nombre de fruits*
Témoin sans fertilisant	$5,33 \pm 1,15^c$
Biochar	$3,33 \pm 0,58^d$
Engrais minéral	$8,33 \pm 0,58^b$
Biochar + demi-dose engrais minéral	$11,00 \pm 1,00^a$
Moyennes	$7,00 \pm 3,13$
Probabilité	0,000
Signification	HS

\* Les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha = 0.05$  ; HS : Hautement significative.

### 3.3 Effet des fertilisants sur le poids de fruits par plant

Le poids moyen des fruits par plant pour les différents traitements est présenté dans le tableau 3. L'analyse de la variance a montré des différences hautement significatives ( $p$ -value = 0,000) de l'effet des traitements sur le poids des fruits. Le poids a été plus élevé ( $2284,00 \pm 59,43$  g) pour le traitement au biochar + demi-dose d'engrais minéral et plus faible pour le biochar d'anacarde seul ( $847,00 \pm 16,70$  g). Le traitement au biochar +  $\frac{1}{2}$  dose d'engrais minéral a été suivi par la dose conventionnelle d'engrais minéral et le témoin sans fertilisant.

**Tableau 3** : Poids des fruits (en g) par plant en fonction des traitements.

Traitements	Nombre de fruits*
Témoin sans fertilisant	$1263,67 \pm 24,58^c$
Biochar	$847,00 \pm 16,70^d$
Engrais minéral	$2284,00 \pm 59,43^b$
Biochar + demi-dose engrais minéral	$2200,33 \pm 11,50^a$
Moyennes	$1648,75 \pm 640,01$
Probabilité	0,000
Signification	HS

\* Les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha = 0.05$  ; HS : Hautement significative.

### 3.3 Effet des fertilisants sur le rendement de la culture

Les rendements de la culture de luffa pour les différents traitements sont présentés dans le tableau 4. L'analyse de la variance a montré des différences hautement significatives de l'effet des traitements sur le rendement. Le rendement le plus élevé a été observé pour le traitement avec le biochar +  $\frac{1}{2}$  dose d'engrais minéral qui a donné un rendement de  $9,20 \pm 0,14$  t/ha, suivi par le traitement à la dose conventionnelle d'engrais minéral et le témoin qui ont donné respectivement  $8,81 \pm 0,25$  et  $5,66 \pm 0,98$  t/ha. La plus faible valeur de rendement a été obtenue pour le biochar appliqué seul ( $3,38 \pm 0,66$  t/ha).

**Tableau 4** : Rendement (en t ha<sup>-1</sup>) de la culture de luffa en fonction des traitements.

Traitements	Rendements (t ha <sup>-1</sup> ) *
Témoin sans fertilisant	$5,66 \pm 0,98^c$
Biochar	$3,38 \pm 0,66^d$
Engrais minéral	$8,81 \pm 0,25^b$
Biochar + demi-dose engrais minéral	$9,20 \pm 0,14^a$
Moyennes	0,000
Probabilité	$6,60 \pm 2,55$
Signification	HS

\* Les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil  $\alpha = 0.05$  ; HS : Hautement significative.

## 4. DISCUSSION

Dans l'optique d'évaluer l'impact fertilisant du biochar issu de résidus d'anacarde sur la productivité de la culture de luffa, une comparaison a été effectuée entre quatre traitements, à savoir un témoin (sans ajout de fertilisant), le biochar de résidus d'anacarde (seul), la dose conventionnelle d'engrais minéral (seule), et le biochar associé à une demi-dose d'engrais minéral. Les résultats de l'expérimentation ont révélé des variations significatives dans l'effet de ces traitements, tant au niveau de la hauteur des plants que des paramètres de production, incluant le poids moyen des fruits et le rendement de la culture.

Les valeurs maximales de hauteur et de rendement ont été observées dans le traitement combinant le biochar et l'engrais minéral, suivi par la dose conventionnelle d'engrais, et le témoin sans fertilisant. En revanche, les valeurs minimales de hauteur et de rendement ont été enregistrées pour le traitement où le biochar a été appliqué de manière indépendante. La productivité réduite associée au traitement au biochar seul suggère un effet inhibiteur de ce dernier sur la croissance et la productivité de la culture de luffa.

Cette faible productivité induite par le biochar pourrait être attribuée, d'une part, à une forte acidité induisant la fixation de certains minéraux tels que le phosphore [16], et d'autre part, à la présence de substances inhibitrices dont la nature et le mécanisme d'action sur la productivité des cultures n'ont pas été élucidés par l'expérimentation. Une analyse biochimique des résidus d'anacarde ou du biochar, ainsi que des analyses biologiques des sols exploités, pourraient permettre de déterminer la nature de ces composés inhibiteurs.

Dans le cas du traitement combinant la fumure organique et l'engrais minéral, la faible minéralisation du biochar pourrait avoir été compensée par l'apport de la dose modérée d'engrais minéral directement assimilable par la culture [13]. L'amélioration de l'efficacité agronomique du biochar s'est traduite par une augmentation de la croissance (hauteur des plants) et du rendement de la culture. Des études antérieures telles que celles de Chan et al. [17], Laird et al. [18], Van Zwieten et al. [19] et Gaskin et al. [20] ont rapporté des effets bénéfiques du biochar en combinaison avec des doses modérées d'engrais minéraux, influant positivement sur la résilience et le rendement de diverses cultures sur différents types de sols.

Cette technologie, impliquant l'usage conjoint du biochar et de l'engrais minéral, pourrait représenter une alternative économiquement viable pour les agriculteurs, favorisant ainsi une intensification durable de la culture de luffa dans diverses zones agro-écologiques. Cependant, l'utilisation du biochar issu de résidus d'anacarde par les agriculteurs, en l'absence d'ajout d'engrais minéral, pourrait constituer un frein à une optimisation de la production agricole. La spécificité de l'inhibition et la réponse des différentes spéculations agricoles à l'application de ce biochar justifient une étude approfondie en vue d'une fertilisation raisonnée.

## 5. CONCLUSION

L'étude a mis en évidence un effet inhibiteur du biochar issu de résidus d'anacarde sur la croissance et le rendement de la culture de Luffa. Pour améliorer l'efficacité Agronomique du biochar et accroître la productivité de la culture de luffa, une application minimale d'engrais minéral (NPK, urée) s'est avérée nécessaire. L'utilisation conjointe du biochar et d'une dose modérée d'engrais minéral a conduit à une amélioration significative du rendement de la culture, dépassant ainsi les résultats obtenus avec une application de dose conventionnelle d'engrais minéral et le témoin sans fertilisant.

Cependant, il est crucial de souligner que l'utilisation du biochar de résidus d'anacarde par les agriculteurs, en l'absence d'une application minimale d'engrais, pourrait représenter un obstacle à l'intensification durable des cultures. La spécificité de l'inhibition et la réponse des différentes spéculations agricoles à l'application du biochar nécessitent des études complémentaires approfondies. Ces travaux de recherche supplémentaires sont essentiels pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents, permettant ainsi une valorisation optimale de ces ressources dans le contexte agricole.

## 6. REFERENCES

1. Joshi B. K., Hari K. C. B., Tiwari R. K., Ghale M., Sthapit B. R. and Upadhyay M. P. Descriptors for sponge gourd (*Luffa cylindrica* (L.) Roem.). Katlirmandu Nepal NARC, LIBIRD and IPGRI; 2004.
2. Partap S., Kumar S., Kumar A., Sharma N. and Jha K. In-Vitro Anthelmintic Activity of *Luffa Cylindrica* Leaves in Indian Adult Earthworm. *J Pharmacogn Phytochem.* 2012;1(2):27-30.
3. Bhattacharyya M. and Chakraborty S. K. *Luffa cylindrica* as a host plant for pollinator bees—a study based in West Midnapore, West Bengal, India. *Journal of Entomology and Zoology Studies.* 2014;2(3):21-6.
4. Anastopoulos I. and Pashalidis I. Environmental applications of *Luffa cylindrica*-based adsorbents. *Journal of Molecular Liquids.* 2020;319:114127.
5. Al-Snafi A. Constituents and pharmacology of *Luffa cylindrica*-A review. *IOSR Journal of Pharmacy.* 2019;9(9):68-79.
6. Azeez M., Bello O. and Adedeji A. Traditional And Medicinal Uses Of *Luffa cylindrica* : A Review. *Journal of Medicinal Plants Studies* 2320-3862. 2013;1(5):102-11.
7. Partap S., Kumar A., Sharma N. and Jha K. K. *Luffa cylindrica*: An important medicinal plant. *J Nat Prod Plant Resour.* 2012;2(1):127-34.
8. Ogunyemi T., Ekuma C., Egwu J. and Abbey D. Proximate and Mineral Composition of Sponge Gourd (*Luffa cylindrica*) Seed Grown in South-Western Nigeria. *Journal of Scientific Research and Reports.* 2020;26(4):61-7.
9. Iizumi T. and Ramankutty N. Changes in yield variability of major crops for 1981-2010 explained by climate change. *Environmental Research Letters.* 2016;11:1-10.

10. Ray D. K., Gerber J. S., MacDonald G. K. and West P. C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*. 2015;6989:1-9.
11. Akanza P. K. and Yoro G. Effets synergiques des engrais minéraux et de la fumure de volaille dans l'amélioration de la fertilité d'un sol ferrallitique de l'ouest de la Côte D'Ivoire. *Agronomie Africaine*. 2003;15(3):135-44.
12. Akanza K. P. and Yao-Kouamé A. Fertilisation organo-minérale du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et diagnostic des carences du sol. *Journal of Applied Biosciences*. 2011;46:3163-72.
13. Vanlauwe B., Descheemaeker K., Giller K. E., Huisling J., Merckx R., Nziguheba G., Wendt J. and Zingore S. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation. *Soil*. 2015;1(1):491-508.
14. Naamane A., Sadiq A., Belhouari A., Iounes N. and EL Amrani S. Enquête sur l'utilisation des engrais et pesticides chez les agriculteurs de la région de Casablanca-Settat. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*. 2020;8(3):279-85.
15. Fairhurst T. Manuel de gestion intégrée de la fertilité des sols. Nairobi, Kenya: Consortium Africain pour la Santé des Sols; 2015. Report No.: 1780645279.
16. Farrell M., Macdonald L. M., Butler G., Chirino-Valle I. and Condron L. M. Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. *Biology and Fertility of Soils*. 2014;50(1):169-78.
17. Chan K. Y., Van Zwieten L., Meszaros L., Downie A. and Joseph S. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*. 2008;46(5):437-44.
18. Laird D., Fleming P., Wang B., Horton R. and Karlen D. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 2010;158(3):436-42.
19. Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Chan K. Y., Downie A., Rust J., Joseph S. and Cowie A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*. 2010;327(1):235-46.
20. Gaskin J. W., Speir R. A., Harris K., Das K. C., Lee R. D., Morris L. A. and Fisher D. S. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy journal*. 2010;102(2):623-33.



**How to cite this article: Jean-Baptiste Gnélié Gnahoua, Marie-Luce Mâ Semba Ouattara, Zonlehoua Coulibali, N'Djечи Benian Françoise Kablan and Loua Barthélémy Diomandé. EFFETS DU BIOCHAR DE RÉSIDUS D'ANACARDE SUR LA PRODUCTIVITÉ DE LA CULTURE DE LUFFA AU NORD DE LA COTE D'IVOIRE. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4): 323-328. DOI: 10.5281/zenodo.10051164**

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## ORIGINALE ARTICLE

**EVALUATION DES RISQUES LIES A L'APPROVISIONNEMENT EN EAU A AKEIKOI : CAS DE LA COMMUNE D'ABOBO - CÔTE D'IVOIRE)****ASSESSMENT OF WATER SUPPLY RISKS IN AKEIKOI: THE CASE OF THE MUNICIPALITY OF ABOBO - CÔTE D'IVOIRE)**

| Djaliah Florence AKE-AWOMON |

Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB) | Institut de Géographie Tropicale (IGT) | Groupe de Recherche Espace Territoires Société et Santé (GRETSSA) | Abidjan | Côte d'Ivoire |

| DOI: 10.5281/zenodo.10089882 | Received September 02, 2023 | Accepted October 27, 2023 | Published October 30, 2023 | ID Article | Florence-Ref5-4-17ajiras231023 |

**RESUME**

**Introduction:** La pénurie d'eau, qualifiée par le Forum Économique Mondial comme le risque majeur pour la société dans la prochaine décennie, est un défi pressant. Cette crise peut être d'origine naturelle ou humaine, impactant des localités telles qu'Akeikoi, un quartier d'Abobo en Côte d'Ivoire. Les habitants de ce quartier font face à une pénurie d'eau persistante, exposant la population à des risques constants. **Objectif:** Cette étude vise à analyser le processus de gestion du risque de pénurie d'eau à Akeikoi. L'objectif est de comprendre les stratégies mises en place par la population pour faire face à cette pénurie et évaluer leur efficacité. **Méthodes:** La méthodologie de cette recherche inclut une approche documentaire, des observations sur le terrain, et des entretiens avec 3 revendeurs d'eau et 12 habitants d'Akeikoi. L'exploitation de la matrice de criticité du risque a également été utilisée pour une analyse approfondie. **Résultats:** Les résultats révèlent que la population d'Akeikoi adopte diverses stratégies pour gérer la pénurie d'eau. Certains résidents surveillent les robinets de 1h à 4h du matin pour recueillir de l'eau, tandis que d'autres utilisent des méthodes créatives telles que placer des tuyaux près des compteurs. Certains parcourent des distances considérables pour acheter de l'eau chez des revendeurs. Cependant, ces pratiques d'approvisionnement entraînent épuisement, stress, et vulnérabilité sanitaire au sein de la population d'Akeikoi. **Conclusion:** La gestion de la pénurie d'eau à Akeikoi nécessite une approche réfléchie et des mesures efficaces. Comprendre les stratégies actuelles permettra de développer des solutions adaptées pour atténuer les risques associés à cette crise. Cette étude souligne l'urgence d'une action coordonnée pour garantir un approvisionnement en eau durable et sécurisé à Akeikoi.

**Mots-clés :** *risque, approvisionnement en eau, population, Akeikoi*

**ABSTRACT**

Water scarcity, identified by the World Economic Forum as the primary risk for society in the next decade, poses an urgent challenge. This crisis can arise from natural or human origins, affecting localities such as Akeikoi, a neighborhood in Abobo, Côte d'Ivoire. Residents of this area confront a persistent water shortage, exposing the population to ongoing risks. **Objective:** This study aims to analyze the risk management process of water scarcity in Akeikoi. The goal is to understand the strategies implemented by the population to cope with this shortage and assess their effectiveness. **Methods:** The methodology employed in this research includes documentary research, on-site observations, and interviews with three water vendors and twelve residents of Akeikoi. The utilization of the risk severity matrix was also employed for a comprehensive analysis. **Results:** The findings reveal that the population of Akeikoi employs various strategies to manage water scarcity. Some residents monitor faucets from 1 am to 4 am to collect water, while others use creative methods like placing hoses near meters. Some cover considerable distances to purchase water from vendors. However, these water-supply practices lead to exhaustion, stress, and health vulnerability within the population of Akeikoi. **Conclusion:** In conclusion, managing water scarcity in Akeikoi requires thoughtful approaches and effective measures. Understanding current strategies will enable the development of tailored solutions to mitigate the risks associated with this crisis. This study emphasizes the urgency of coordinated action to ensure a sustainable and secure water supply in Akeikoi.

**Keywords :** *risk, water supply, population, Akeikoi*

**1. INTRODUCTION**

Pour répondre à ses besoins en eau, inhérents aux tâches domestiques, aux activités économiques, à l'agriculture, et autres, l'Homme dépend de la disponibilité de cette ressource. Lorsque cette disponibilité est insuffisante ou inexistante, une situation d'insuffisance ou de manque se présente. Cette condition, qualifiée de pénurie, peut résulter de phénomènes naturels ou être induite par l'action humaine. Selon Olivier (2005, p. 264) [1] la valeur collective attribuée à la ressource en eau dépend de la perception de la pénurie, construite dans le rapport entre la demande et l'offre d'eau, ainsi que dans le rapport entre les besoins et la disponibilité en eau.

Cette perception sociale de la pénurie d'eau joue un rôle crucial dans des domaines tels que la santé, l'agriculture, l'élevage, l'alimentation et l'énergie, comme souligné par le Baromètre de L'Eau de l'hygiène & de l'assainissement en 2020 (p. 2) [2]. Les facteurs de risques liés à l'eau, tels que le stress hydrique, la sécheresse, les précipitations insuffisantes, les inondations et la pollution, sont à la source de ces répercussions dans divers secteurs (Maxwell, 2015, p. 2) [3]. Dans ce contexte, l'eau, qui est une source de vie, devient une menace pour ses utilisateurs.

Dans les pays en développement, la disponibilité de la ressource peut être présente, mais la croissance démographique et le manque d'extension des infrastructures hydriques dans des zones urbaines mal planifiées entraînent une distribution insuffisante d'eau, engendrant des inégalités dans la gestion (Rayaleh, 2005, p. 319) [4]. Les populations urbaines, bien que souvent, raccordées au réseau national de distribution d'eau, font face à des défis, tels que des coupures d'eau programmées (Adou, et al., 2021, p. 535) [5].

La population d'Akeikoi, un quartier de la commune d'Abobo situé au nord-est d'Abidjan, est confrontée à d'importants obstacles pour accéder à l'eau des robinets. Bien que les ménages soient connectés au réseau de la SODECI (Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire), le débit d'eau dans les robinets est insatisfaisant. Les méthodes utilisées par la population pour s'approvisionner en eau présentent des problèmes, exposant ainsi la communauté à des risques liés à ces pratiques. Dans ce contexte, cette étude vise à identifier la situation de risque associée à l'approvisionnement en eau dans le quartier d'Akeikoi.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1 Localisation de la zone d'étude

Situé au Nord-Est de la commune d'Abobo, Akeikoi est limité à l'Ouest par le quartier Avocatier Agnissankoi, au Sud par les quartiers Houphet Boigny et Abobo Nord, à l'Est par Djibi (figure 1). Akeikoi est l'extension du village Akyé (Akeikoi village). Sa population estimée à 46 626 habitants (INS, 2013) est composée d'Akyé, de plusieurs ethnies de la Côte d'Ivoire et d'étrangers.

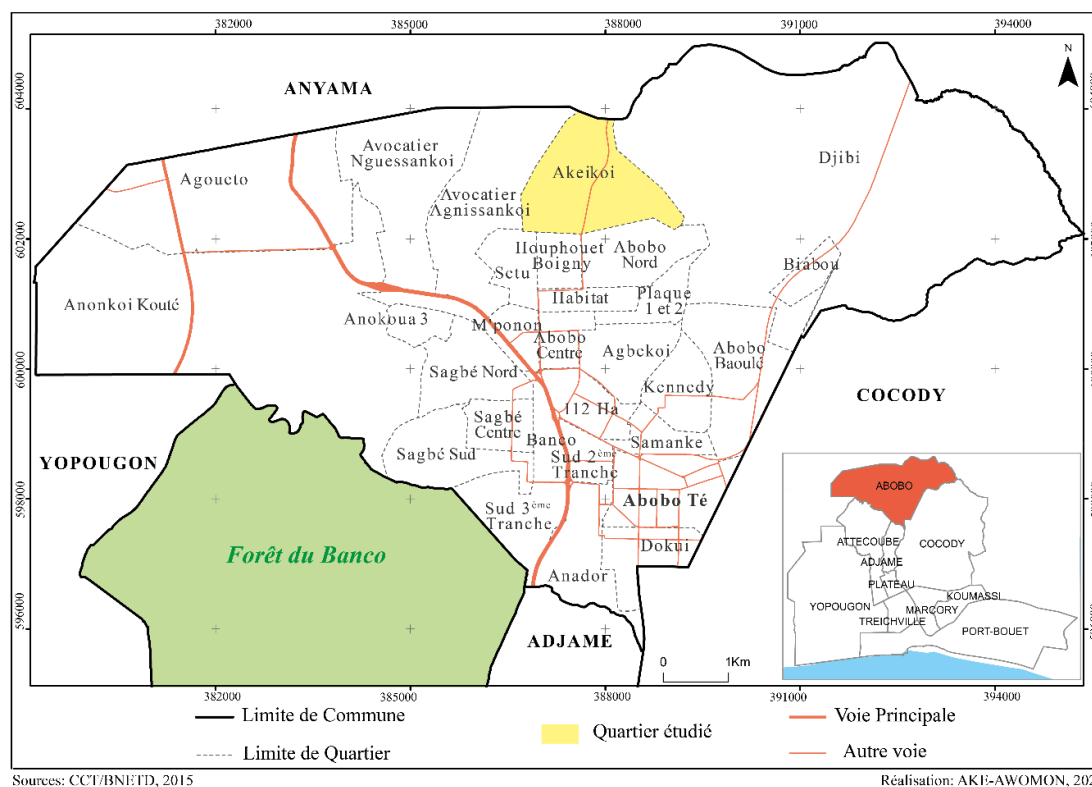


Figure1 : Localisation d'Akeikoi.

### 2.2. Méthode de collecte de données

Concernant la recherche documentaire, elle a permis de consulter des articles scientifiques, des thèses, des ouvrages et des rapports techniques. Cette revue de la littérature était axée sur l'approvisionnement en eau des quartiers urbains ainsi que les risques associés. L'enquête de terrain s'est déroulée en deux étapes. La première a consisté en des observations directes des sites d'approvisionnement en eau et des habitants en activité hydrique. La seconde étape a impliqué des entretiens semi-directifs avec des chefs de ménage, des maîtresses de maison, des revendeurs d'eau, des responsables communautaires et des membres de la communauté. Ces entretiens visaient à collecter des données qualitatives sur les pratiques et représentations liées à l'eau.

## 3. RESULTATS

### 3.1. Etats des lieux descriptifs de l'approvisionnement en eau à Akeikoi

A Akeikoi, il est extrêmement difficile de s'approvisionner en eau potable. Depuis plus de 10 ans, la pénurie d'eau trouble la quiétude de la population. Pour ce faire, chaque ménage à sa manière de s'approvisionner en eau potable.

### 3.1.1. Le raccordement au réseau d'adduction d'eau de la SODECI

Le principale mode d'approvisionnement en eau potable, est celle distribuée par la SODECI. Les ménages font une demande d'abonnement puis sont raccordé au réseau. Mais dans la zone d'étude, dans des secteurs, l'eau ne coule pas dans les robinets en permanence. Même quand, elle coule, le débit est très faible. La population, ne reçoit de l'eau qu'entre 12h et 14h avec un débit très faible, pour la première tranche. La deuxième tranche de réception d'eau dans les robinets se fait tard dans la nuit, à partir de minuit jusqu'à 4 h du matin. Les ménages qui souhaitent recevoir de l'eau pendant la nuit sont obligés de veiller pour attendre la venue de l'eau dans les robinets. D'autres abonnés par contre, ne reçoivent pas de l'eau dans leurs robinets, ils sont donc dans l'obligation de se tourner vers les revendeurs d'eau en plus des frais d'entretien des compteurs de la SODECI. En outre, il y a des propriétaires de cours commune qui s'abonnent à la SODECI, et installent un seul compteur dans la cour. Ces derniers obligent tous leurs locataires à s'approvisionner à ce robinet unique, moyennant une somme allant de 4 000 à 6 000f par mois. Ce mode d'approvisionnement en eau est appelé communément, l'eau "*anango*" dans la commune d'Abobo (photo 1). C'est donc dans ce contexte difficile d'approvisionnement en eau potable que se retrouve les habitants d'Akeikoi.



**Photo 1 :** Robinet unique pour l'approvisionnement en eau "*Anango*". (Source : Enquête de terrain, 2023, Aké-Awomon Florence).

### 3.1.2. L'approvisionnement en eau à partir de robinets posés près des compteurs à Akeikoi

Dans la zone d'étude, un autre groupe de ménages n'ayant pas suffisamment les moyens financiers pour s'acheter une machine supprimeur, installe un robinet près de leur compteur, afin de se ravitailler en eau (planche 1).



Les compteurs des ménages à Akeikoi. (Source : Enquête de terrain, 2023, Aké-Awomon Florence)

La planche 1 montre différents cas de figures d'installation de robinets près des compteurs. Sur la photo A, le robinet se trouve près du compteur protégé par une cage en fer cadenassé. Un tuyau est fixé au robinet pour recueillir de l'eau. Concernant, les photos B, C et D, les tuyaux qui vont aux compteurs sont sectionnés afin de poser les robinets. Les chefs de ménages prennent le soin de protéger les robinets par une petite boîte en fer. Ainsi, à l'aide de cadenas, des personnes étrangères n'ont pas accès à l'eau destiné au propriétaire du compteur. C'est donc de cette manière que les

membres des différents ménages concernés par cette technique s'approvisionnent en eau pour les usages domestiques (planche 2).



**Planche 2** : Des personnes près des compteurs à robinets en train de recueillir de l'eau. (Source : Enquête de terrain, 2023, Aké-Awomon Florence).

### 3.1.3 L'approvisionnement en eau chez les possesseurs de compteurs commerciaux de la SODECI et de forages chez des particuliers

- Fournisseur d'eau chez les détenteurs de compteurs commerciaux

Les habitants d'Akeikoi qui ne veillent pas les nuits pour recueillir l'eau, ou qui ont cessé de payer les frais d'entretien des factures de la SODECI, préfèrent acheter l'eau chez des revendeurs. La première catégorie de revendeurs d'eau à Akeikoi est les détenteurs de compteurs commerciaux de la SODECI (photo 2).



**Photo 2** : Site de revente d'eau chez un possesseur de compteur commerciale de la SODECI. (Source : Enquête de terrain, 2023, Aké-Awomon Florence).

L'analyse de la photo 2 nous offre une vue détaillée d'un point de revente d'eau situé à proximité des toilettes publiques. Il est à souligner que ce site est fréquenté par des revendeurs d'eau à Akeikoi. De manière unanime, ces revendeurs proposent des bidons de 20 à 25 litres au prix de 50 F CFA, tandis que trois (3) bidons sont vendus à 100 F CFA. Avec des recettes journalières variant entre 8 000 et 12 000 F CFA, voire davantage, ces vendeurs d'eau génèrent des revenus substantiels. En revanche, les ménages composés de cinq (5) à dix (10) personnes dépensent en moyenne entre 500 et 1 500 F CFA par jour pour s'approvisionner en eau. La deuxième catégorie de revendeurs d'eau comprend ceux qui installent des forages.

- Ravitaillement en eau chez les propriétaires de forages

Compte tenu de la récurrence de la problématique de l'approvisionnement en eau à Akeikoi, des particuliers ont donc installés des forages, afin de faire le commerce de l'eau (planche 3).





**Planche3** : Forages de revendeurs d'eau à Akeikoi. (Source : Enquête de terrain, 2023, Aké-Awomon Florence / RTI Officiel, janvier 2023).

La planche 3 nous montre deux (2) forages gérés par des particuliers. Pour le forage de la photo H, c'est une femme qui s'occupe de vendre de l'eau aux habitants et celui de la I est géré par un homme. La photo H, montre que l'un des robinets du forage est entouré d'herbes.

### 3.2. Analyse des dangers et appréciation du risque lié à l'approvisionnement en eau à Akeikoi

#### 3.2.1. Enumération des dangers

Après avoir dressé un état des lieux descriptif de l'approvisionnement en eau à Akeikoi dans cette section des résultats, nous abordons le recensement des dangers associés à cet approvisionnement (tableau 1). Avant d'effectuer cet inventaire de la situation de risque, nous adoptons la définition du concept de risque selon l'OMS (2013, p. 2) [6]. Selon cette définition, le "risque" représente la probabilité et l'impact d'un événement qui pourrait compromettre la capacité de l'Organisation à atteindre ses objectifs. Si cet événement se produit, il peut avoir un impact positif (opportunité) ou négatif (menace) sur la réalisation des objectifs politiques, stratégiques et opérationnels de l'Organisation. Dans le cadre de cette étude, nous retenons la définition selon laquelle le risque est l'impact, c'est-à-dire l'effet produit ou l'action exercée, des coupures d'eau quotidiennes constituant une menace pour la population d'Akeikoi.

**Tableau 1** : Liste d'événements dangereux et de dangers liés à l'approvisionnement en eau à Akeikoi.

LE DANGER	
EVENEMENT DANGEREUX : SOURCE DU DANGER	DANGERS ASSOCIES
Coupe journalière de l'eau à Akeikoi	Stress, pression financière,
Approvisionnement en eau près des compteurs de la SODECI	Dégradation de la qualité de l'eau recueillie
Sites d'approvisionnement en eau commerciales impropres : à proximité de toilettes publiques, robinet implanté dans des herbes)	Contamination microbienne
Approvisionnement en eau non traitée issue des forages	Mauvaise qualité de l'eau : contamination chimique et/ou microbienne
Stockage de l'eau	Contamination microbienne
Mauvais ou absence de curage des récipients de stockage de l'eau	Contamination microbienne
Recueil de l'eau tard dans la nuit (entre minuit et 4h du matin)	Affaiblissement physique, épuisement, céphalée, stress

(Source : Inspiré d'ARS PACA, 2021 [7] (Agence Régionale de Santé Provence-Alpes, Côte d'Azur) / Enquête de terrain, 2023).

L'examen du tableau 1 révèle les incidents périlleux associés à l'approvisionnement en eau à Akeikoi. Les coupures quotidiennes génèrent du stress et exercent une pression financière sur les foyers d'Akeikoi. De plus, on observe l'insalubrité des sources d'approvisionnement, le défaut d'entretien des récipients de stockage de l'eau, et l'utilisation d'eau non traitée provenant des forages. Ces éléments contribuent à une contamination microbienne ou chimique de l'eau utilisée par la population. Après avoir dressé la liste de ces risques, nous allons évaluer le niveau de danger inhérent à l'approvisionnement en eau à Akeikoi.

#### 3.2.2. Appréciation du risque propre aux coupures d'eau à Akeikoi (risque initial ou intrinsèque)

La grille d'évaluation proposée est présentée dans le tableau 2. Ce tableau répertorie les valeurs correspondantes aux divers degrés de gravité du danger. En fonction de l'impact sur la santé, le danger peut être classé comme mineur (note 1), significatif (note 4), important (note 8) ou majeur (note 16). Ces évaluations varient en fonction de l'impact sur la santé et de l'approvisionnement en eau. Pour établir le tableau de criticité, le tableau 2 fournira les différentes fréquences des dangers.

**Tableau 2** : Le tableau présente les cotes de gravité d'un danger.

GRAVITE			
<b>1</b>	Mineur	Pas d'impact sanitaire	Disponibilité de l'eau
<b>4</b>	Significatif	Impact sanitaire à moyen ou long terme	Pression d'eau très faible
<b>8</b>	Importante	Impact sanitaire à court terme	Approvisionnement en eau près des compteurs et chez les revendeurs à partir des forages et à environnement insalubre
<b>16</b>	Majeur	impact sanitaire, manifeste immédiat	manque d'eau

(Source : Inspiré d'ARS PACA, 2021 / Enquête de terrain, 2023).

L'analyse du tableau 3 révèle les diverses cotes attribuées à la fréquence des événements associés à la période de survenue des dangers. Les événements sont classés comme suit : exceptionnel (cote 1), rare (cote 2), occasionnel (cote 3), fréquent (cote 4) et très fréquent (cote 5).

**Tableau 3** : Le tableau montre les cotations de la Fréquence d'un Danger.

FREQUENCE		
<b>1</b>	Évènement <b>exceptionnel</b>	<b>&gt; 5ans</b>
<b>2</b>	Évènement au moins <b>quinquennal ou rare</b>	<b>1 à 5 ans</b>
<b>3</b>	Évènement au moins <b>annuel ou occasionnel</b>	<b>3 mois à un an</b>
<b>4</b>	Évènement au moins <b>trimestriel ou fréquent</b>	<b>1 à 3 mois</b>
<b>5</b>	Évènement au moins <b>mensuel ou très fréquent</b>	<b>&lt; 1 mois</b>

(Source : Inspiré d'ARS PACA, 2021 / Enquête de terrain, 2023)

En utilisant le produit des mesures de la gravité et de la fréquence des incidents, nous sommes en mesure d'évaluer de manière objective le risque associé à l'approvisionnement en eau à Akeikoi, comme illustré dans le tableau 4. Ce tableau de criticité expose les divers niveaux de risque inhérents à l'approvisionnement en eau à Akeikoi.

**RISQUE = GRAVITE X FREQUENCE**




**La criticité** : le produit de la probabilité d'occurrence d'un accident par la gravité de ses conséquences.

**Tableau 4** : Le tableau montre la matrice de l'évaluation du risque.

		GRAVITE			
		<b>1</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>16</b>
FREQUENCE	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>16</b>
	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>32</b>
	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>48</b>
	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>64</b>
	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>80</b>

(Source : Inspiré d'ARS PACA, 2021 / Enquête de terrain, 2023).

La matrice décrite par le tableau ci-dessus vise à établir la criticité d'un danger.

	< 8	<b>risque faible 30%</b>
	8 ≤ Note < 16	<b>risque moyen 15 %</b>
	Note ≥ 16	<b>risque important 55%</b>

À Akeikoi, les trois niveaux de risque sont constatés. Cependant, le risque faible est de 30%, le risque moyen est de 15%, et le risque important représente plus de la moitié des pourcentages (55%). Le niveau de risque le plus élevé prédomine à Akeikoi.

**4. DISCUSSION**

Les foyers d'Akeikoi sont connectés au réseau de la SODECI, cependant, ils rencontrent des difficultés significatives dans la réception régulière d'eau potable via leurs robinets. Cette réalité a incité les ménages à rechercher des alternatives pour répondre à leurs besoins domestiques et autres en eau. Ainsi, les résidents s'approvisionnent en eau à partir de robinets adjacents aux compteurs de la SODECI, chez des détenteurs de compteurs commerciaux et via des forages chez des particuliers. Cette méthode d'approvisionnement découle de l'approvisionnement irrégulier persistant de la SODECI. Il convient de noter que, contrairement à d'autres quartiers de la même commune qui reçoivent de l'eau tout au long de la journée, Akeikoi ne bénéficie d'approvisionnement qu'en fin de nuit, et ce, pendant quelques heures seulement. Ce schéma rappelle la disparité d'approvisionnement en eau observée dans les ménages de Djibouti (Rayaleh, 2005, p. 321) [4], où des inégalités géographiques et sociales existent entre Djibouti-ville (quartier résidentiel) et Balbala (quartier populaire). Cette disparité est également observable à l'échelle internationale en raison de facteurs tels que la croissance démographique, l'évolution des habitudes de consommation, la pollution et le changement climatique (Serghini, 2022, p. 7) [8]. L'inégale distribution d'eau de la SODECI pousse les ménages du quartier Diallo de Vaoua (Côte d'Ivoire) à se tourner vers les puits et à acheter de l'eau auprès de revendeurs (Coulibaly, et al., 2022, p. 218) [9]. De même, les ménages de la périphérie Ouest de Bingerville (Côte d'Ivoire) éprouvent des difficultés d'approvisionnement en raison de l'insuffisance des infrastructures hydrauliques, les obligeant à se conformer à des plages horaires pour l'accès à l'eau (Adou, et al., 2021, p. 534) [5].

Le fait que la population d'Akeikoi s'approvisionne en eau par ces moyens expose les habitants à différents niveaux de risques (30% faible, 15% moyen et 55% important). Plus de la moitié des ménages sont confrontés à un risque important lié à l'approvisionnement en eau à Akeikoi. Il est important de noter que les conditions et les moyens utilisés pour collecter de l'eau dans les ménages présentent des dangers pour la population. Ces risques, combinés à leur fréquence, exposent la population à des dangers découlant de leur quête d'approvisionnement en eau. Ce résultat reflète les conclusions de Magali Reghezza-Zitt (2016, p. 280) [10], qui soutient que le risque est une construction sociale, la société jouant un rôle dans la transformation des aléas (anthropisation) et l'augmentation de l'exposition (production du risque). En revanche, Mondet, et al. (2010, p. 240) [11] attribuent les risques sanitaires de la population

du Sud de l'Inde, à l'eau, soulignant que la mauvaise gestion des eaux impacte la santé humaine, en particulier l'accès à l'eau potable et l'évacuation des eaux pluviales et usées.

## 5. CONCLUSION

À la clôture de cette étude, il est observé que la majorité de la population d'Akeikoi dans la commune d'Abobo, bien que principalement abonnée à la SODECI, explore d'autres moyens d'approvisionnement en eau pour ses besoins domestiques et autres. Ces alternatives comprennent l'utilisation de robinets adjacents aux compteurs, la sollicitation de possesseurs de compteurs commerciaux de la SODECI, ainsi que le recours à des forages privés. Ces divers modes d'approvisionnement exposent les habitants à des risques dont l'ampleur varie en fonction de leur fréquence, créant ainsi des niveaux distincts de vulnérabilité au sein de la population. Dans cette optique, il est impératif que la municipalité et la SODECI collaborent activement pour mettre en place des mesures garantissant la sécurité hydrique de la population, afin de prévenir les risques associés à ces pratiques diversifiées d'approvisionnement en eau.

## 6. REFERENCES

- Alexandre Olivier. Lorsque la pénurie fait ressource. Etude géographique de la notion de ressource. L'exemple de la politique de l'eau au Maroc. Géocarrefour [En ligne]. 2005; 80(4): 263-272. DOI: <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.1244>.
- Baromètre de l'eau de l'hygiène & de l'assainissement. L'eau en crise (s) ? Etat des lieux d'une ressource vitale, défis & solution. 6<sup>e</sup> édition, 2020. P. 55.
- Dorothy Maxwell. Les risques et les opportunités posés par l'eau ne peuvent être ignorés par les entreprises, les industries, ou les nations. IFAC, Fédération Internationale des Experts Comptables. 2015; p. 7. Consulté le 29 mai 2023. Disponible sur: <https://www.ifac.org/knowledge-gateway/discussion>.
- Hassan-Omar Rayaleh. Une pénurie d'eau gérée par l'inégalité : le cas de la ville de Djibouti. Géocarrefour. 2005; 80(4): 319-323.
- Adou GAT, Konan HG Epe Kouamé, Aké D.F. Epe Awomon. Résilience des femmes dans l'approvisionnement en eau potable à la périphérie ouest de Bingerville (Côte d'Ivoire). Actes de colloque : Gouvernance, économie et société : l'Afrique face aux défis du XXI<sup>e</sup> siècle. Nouvelles Éditions Balafons; 2021. p. 527-543. ISBN: 978-2-37326-290-2.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Registre des risques institutionnels, Gestion des risques stratégiques à l'échelle de toute l'Organisation à l'OMS, 133<sup>ième</sup> session, Rapport du Secrétariat du Conseil Exécutif EB133/10. 2013; p. 12.
- ARS PACA (Agence Régionale de Santé Provence-Alpes, Côte d'Azur). Plans de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau, Guide méthodologique simplifié. 2021; p. 82.
- Serghini M. La problématique des ressources en eau. Article : Développement durable, Finance news. 2022; p. 11.
- Coulibaly M, Aké-Awomon DF, Traoré D. Analyse du mode d'approvisionnement en eau potable et risques de maladies hydriques au quartier Diallo (Vavoua - Côte d'Ivoire). Quest Journal, Journal of Research in Humanities and Social Science. 2022; 10(10): 214-225.
- Reghezza-Zitt M. Gestion des risques naturels liés à l'eau et vulnérabilités. In: L'eau à découvert [en ligne]. Paris: CNRS Éditions; 2015 ; p. 108-181. (généré le 23 mai 2023). ISBN: 9782271119117. DOI: <https://doi.org/10.4000/books.editions-cnrs/10063>. Disponible sur Internet: <http://books.openedition.org/editions-cnrs/10063>.
- Mondet Bernard, Seyler Thomas, Salem Gérard et Gonzalez Jean-Paul. L'étude des risques sanitaires liés à l'eau dans l'environnement urbain : l'exemple de la ville de Chennai, Inde du Sud. In: Sociétés, environnements, santé [en ligne]. Marseille: IRD Éditions; 2010. p. 239-255. (généré le 23 mai 2023). Disponible sur Internet: <http://books.openedition.org/irdeditions/3616>. ISBN: 9782709918138. DOI: <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.3616>.



How to cite this article: **Djalih Florence AKE-AWOMON. EVALUATION DES RISQUES LIES A L'APPROVISIONNEMENT EN EAU A AKEIKOI : CAS DE LA COMMUNE D'ABOBO - CÔTE D'IVOIRE). *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023; 17(4): 329-335. DOI: 10.5281/zenodo.10089882**

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



# American Journal of innovative Research & Applied Sciences

[American Journal of Innovative Research & Applied Sciences](http://www.american-jiras.com)

[www.american-jiras.com](http://www.american-jiras.com)

AJIRAS, Atlantic Centre for Research Sciences, All Rights Reserved.

Info-AJIRAS-® Multidisciplinary Journal:

ISSN-L 2429-5396 / OCLC Number: 920041286

-The AJIRAS Journal belongs to France country: See [link](#)

-Instructions and catalog listing on the National Library of France: See [link](#)

-The ISSN was registered on ISSN International Centre: See [link](#)

More information:

-AJIRAS is Open access scholarly journal published under Creative Commons licenses CC-BY

-ISSN and key title: ISSN 2429-5396 = American Journal of Innovative Research & Applied Sciences.

-Abbreviated key title: Am. J. innov. res. appl. sci.

-Indice(s) Dewey: 505 (22nd ed). 605 (22nd ed.); 570.5 (22nd ed.); 001 305 (22nd ed.).

-AJIRAS JOURNAL is an international online open access journal published monthly.