

# INTERNATIONAL JOURNAL

## *Water Sciences and Environment Technologies*

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688  
Open Access Journal

*Volume (ix) - Issue 2 - October 2024*

**W**ater - **A**griculture - **C**limate'2024



**Water, Agriculture, Climate Change  
and Food Security**

*Caractérisation qualitative et quantitative des ressources en eau*

**Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul**

*Published by:*

Scientific and Technical Association for Water and  
the Environment in Tunisia (*ASTEETunisie*)

## International Scientific Committee (ISC-WAC'2024)

<i>Nouredine Gaaloul</i>	<i>Prof. University of Carthage – IRESA - INRGREF (Tunisia)</i>
<i>Hamadi Habaieb</i>	<i>Prof. University of Carthage – IRESA -IN-AT (Tunisia)</i>
<i>Zouhaier Nasr</i>	<i>Prof. University of Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisia)</i>
<i>Mohamed Hacibcha</i>	<i>Prof. University of Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisia)</i>
<i>Zouhaier Hlaoui</i>	<i>Prof. University of Tunis - Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis (Tunisia)</i>
<i>Adel Kharroubi</i>	<i>Prof. University of Gabès – ISSTEG (Tunisia)</i>
<i>Rachid Boukchicha</i>	<i>M.Conf. University of Gabès – ISSTEG (Tunisia)</i>
<i>Nouredine Hamdi</i>	<i>Prof. Université of Gabès – ISSTEG (Tunisia)</i>
<i>Taoufik Hermassi</i>	<i>M.Conf. University of Carthage – IRESA -INRGREF (Tunisia)</i>
<i>Mohamed Habib Sellami</i>	<i>M.Conf. University of Jendouba – IRESA- ESIM (Tunisia)</i>
<i>Hechmi Belaid</i>	<i>M. Assistant, University of Jendouba -IRESA- ESIM (Tunisia)</i>
<i>Rim Katlane</i>	<i>M.Conf. University of Manouba - Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités (Tunisia)</i>
<i>Ibrahim Amadou Traoré</i>	<i>Expert Hydrogeologist</i>
<i>Mohamed Meddi</i>	<i>Prof. ENSH, (Algeria)</i>
<i>Aggèdine Hani</i>	<i>Prof. Univ. Annaba (Algeria)</i>
<i>Larbi Djabri</i>	<i>Prof. Univ. Annaba (Algeria)</i>
<i>Salah Eddine Ali Rahmani</i>	<i>Prof. University Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Algeria)</i>
<i>Saadane Djorji</i>	<i>Prof. University of Annaba (Algeria)</i>
<i>Mohammed Achite</i>	<i>Prof. University of Chlef (Algeria)</i>
<i>Abdelhalim Yahiaoui</i>	<i>Prof. University of Bechar (Algeria)</i>
<i>Mohamed Bessenasse</i>	<i>Prof. University of Saad Dablab- Blida (Algeria)</i>
<i>Benabadi Nonry</i>	<i>Prof. University of Tlemcen (Algeria)</i>
<i>Abdessamad Merzouk</i>	<i>Prof. University of Tlemcen (Algeria)</i>
<i>Beloulou Laroussi</i>	<i>Prof. University Badji Mokhtar, Annaba (Algeria)</i>
<i>Abdelhalim Yahiaoui</i>	<i>M.Conf. Univ. Bechar (Algeria)</i>
<i>Gnergazj Saadia</i>	<i>M.Conf. University of Biskera (Algeria)</i>
<i>Gwendouz Abdelhamid</i>	<i>M.Conf. University of Blida1 (Algeria)</i>
<i>Khonaldia Wacila</i>	<i>M.Conf. University of Souk-Abras (Algeria)</i>
<i>Belkacem Bekkensa</i>	<i>M.Conf. University Mustapha Stambouli de Mascara (Algeria)</i>
<i>Ali Essahlaoui</i>	<i>Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)</i>
<i>El Ouali Abdelbadi</i>	<i>Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)</i>
<i>Abdellab El Hmaidi</i>	<i>Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)</i>
<i>Imad Manssour</i>	<i>Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)</i>
<i>Abdelmajid Moumen</i>	<i>Prof. University Nadour (Morocco)</i>
<i>Mbamed Amyay</i>	<i>Prof. University of Fès (Morocco)</i>
<i>Abdelaziz Abdallaoui</i>	<i>Prof. University Moulay Ismail (Morocco)</i>
<i>Nadia Lablou</i>	<i>M.Conf. University Mohamed V Rabat (Morocco)</i>
<i>Amadou Thierno Gaye</i>	<i>Prof. University of Cheikh Anta Diop, Dakar, (Senegal)</i>
<i>Sousou Sambou</i>	<i>Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Senegal)</i>
<i>Diop Ngom Fatou</i>	<i>Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Senegal)</i>
<i>Abdoulaye Faty</i>	<i>Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST ((Senegal)</i>
<i>Soro Nagnin</i>	<i>Prof. UFR STRM (Ivory Coast)</i>
<i>Gnamba Franck Maxime</i>	<i>Prof. UFR STRM (Ivory Coast)</i>
<i>Soro Nagnin</i>	<i>Prof. UFR STRM (Ivory Coast))</i>
<i>Cash Ngongzo Lwesi</i>	<i>Prof. Univ. Dem. Rep. (Congo)</i>
<i>Koussoubon A. Leonard</i>	<i>Prof. FLLAC/ UAC (Congo)</i>
<i>Koumassi Dègla Hervé</i>	<i>Prof. LACEEDE/ UAC (Benin)</i>
<i>Hamma Yaomba</i>	<i>Prof. 2iE (Burkina Faso)</i>
<i>Harouna Karambiri</i>	<i>Prof. 2iE (Burkina Faso)</i>
<i>Lienou Gaston</i>	<i>Prof. Univ. Yaoundé (Cameroun)</i>
<i>Gnandi Kissao</i>	<i>Prof. Univ. Lomé (Togo)</i>
<i>Hamadouni Bokar</i>	<i>Prof. Univ. ENI-abt (Mali)</i>
<i>Salina Sanou</i>	<i>Pan African Climate Justice Alliance (Kenya)</i>
<i>Saeid Eslamian</i>	<i>Prof. University of Isfahan (Iran)</i>
<i>Amadou Gaye</i>	<i>Prof. CR4D (Ethiopia)</i>
<i>Richard Anyah</i>	<i>Prof. CR4D (Ethiopia)</i>
<i>Benjamin Lamptey</i>	<i>Prof. CR4D (Ethiopia)</i>
<i>Aqeel Al-Adili</i>	<i>Prof. Univ. Technology (Iraq)</i>
<i>Moumtaz Razack</i>	<i>Prof. University of Poitiers (France)</i>
<i>Lucila Candella</i>	<i>Prof. Univ. Catalonia (Spain)</i>
<i>Fotis K. Pliakas</i>	<i>Prof. Univ. Thrace (Greece)</i>
<i>Andreas Kallioras</i>	<i>Prof. Univ. Athens (Greece)</i>
<i>Christoph Schüth</i>	<i>Prof. Tech.Univ. Darmstadt (Germany)</i>
<i>Jean-François Deléglise</i>	<i>Prof. University of Liège (Belgium)</i>

## Preface



**L**'eau est source de vie : elle est partie intégrante de la sécurité alimentaire et de la nutrition et constitue l'élément vital des écosystèmes dont tous les êtres humains sont tributaires. L'eau potable et l'assainissement sont cruciaux pour la nutrition, la santé et la dignité de chacun. Sécuriser l'accès à l'eau peut être particulièrement difficile pour les populations vulnérables et les femmes. L'eau, en quantité et de qualité, est essentielle à la production agricole, ainsi qu'à la préparation et à la transformation des aliments. L'agriculture irriguée représente 70 pour cent de l'ensemble des prélèvements d'eau dans le monde (eau de surface et eau souterraine).

### **L'eau Est Fondamentale Pour La Sécurité Alimentaire et la Nutrition (SAN)**

1. L'eau est source de vie. Elle est fondamentale pour la sécurité alimentaire et la nutrition. Elle est l'élément vital des écosystèmes, et notamment des forêts, des lacs et des terres humides, qui conditionne la sécurité alimentaire et la nutrition des générations actuelles et à venir. De qualité et en quantité appropriées elle est indispensable pour la boisson et l'assainissement, la production d'aliments (pêches, cultures et élevage), la transformation et la préparation des aliments. Elle a également son importance pour les secteurs de l'énergie, de l'industrie et d'autres secteurs économiques. Les cours et les plans d'eau sont souvent utilisés comme voies de transport (notamment d'intrants, d'aliments destinés à la consommation humaine et animale). En fin de compte, l'eau favorise la croissance économique et la création de revenus et par conséquent, l'accès économique aux aliments.
2. L'eau potable et l'assainissement sont cruciaux pour la nutrition, la santé et la dignité de chacun. L'absence d'accès à l'eau potable, aux installations sanitaires et aux pratiques d'hygiène compromet l'état nutritionnel en raison des maladies transmises par l'eau et des infections intestinales chroniques. Malgré des progrès significatifs en ce qui concerne l'accès à l'eau potable et à l'assainissement, il y avait encore dans le monde en 2012, selon l'OMS et l'UNICEF, 4 pour cent de la population urbaine et 18 pour cent de la population rurale (mais 47 pour cent de la population rurale en Afrique subsaharienne) qui étaient privés d'accès à une source améliorée d'eau de boisson<sup>2</sup> et 25 pour cent de la population qui ne bénéficiaient pas d'installations sanitaires améliorées ou collectives.
3. Selon la FAO, en 2009, 311 millions d'hectares étaient équipés pour l'irrigation, 84 pour cent de ceux-ci étant effectivement irrigués, soit 16 pour cent des terres cultivées et 44 pour cent de la production végétale totale. Une irrigation fiable permet également l'accroissement et la stabilisation des revenus et confère une résilience aux moyens d'existence d'un grand nombre de petits exploitants. L'agriculture irriguée est de loin le premier consommateur d'eau dans le monde, puisqu'elle a absorbé au total en 2013† 252 milliards de mètres cubes prélevés dans les eaux de surface et eaux souterraines en 2013, soit 6,5 pour cent des flux des ressources mondiales renouvelables en eau douce et 70 pour cent des prélèvements anthropiques dans le monde, avec des différences sensibles entre les pays: 90 pour cent dans les pays à faible revenu, 43 pour cent dans les pays à revenu élevé.

### **La gestion des pénuries d'eau dans le secteur de l'agriculture et Dans les systèmes alimentaires**

1. L'amélioration de la gestion de l'eau dans le secteur de l'agriculture et dans les systèmes alimentaires vise à améliorer leur contribution à la SAN (disponibilité, accès, stabilité, nutrition), malgré les contraintes hydriques. On peut y parvenir en renforçant l'efficacité de l'eau à tous les niveaux (modalités d'utilisation de l'eau, de l'écosystème au végétal) et en accroissant la productivité de l'eau agricole (le rapport entre l'apport d'eau et la productivité) dans les systèmes pluviaux et irrigués.
2. L'amélioration de la gestion de l'eau pour favoriser la SAN passe par des mesures allant d'une planification appropriée et de l'optimisation des ressources, des apports et des moyens de production, à la fois dans les systèmes pluviaux et dans les systèmes irrigués, ainsi que d'un bout à l'autre des filières alimentaires, à une gestion durable des écosystèmes et des paysages de nature à améliorer, réguler et stabiliser l'approvisionnement en eau. La gestion de l'eau sera déterminante pour l'adaptation au changement climatique des systèmes agricoles, qu'ils soient pluviaux ou irrigués.
3. Pour la sécurité alimentaire de demain, il faut que la gestion des terres et des eaux préserve les fonctions de l'écosystème et assure la pérennité de la ressource. La gestion durable des écosystèmes et une approche écosystémique de la gestion de l'eau, du niveau local jusqu'à un niveau continental, sont fondamentales pour assurer la quantité et la qualité de l'eau nécessaires pour la sécurité alimentaire et la nutrition de demain

**Nouredine Gaaloul**

Professor of higher education and full Researcher in the National Institute of Research in Rural Engineering of Water and Forestry (University of Carthage- IRESA- INRGREF-Tunis).

Founder and Chief Editor International Journal Water Science and Environment Technologies

President of Scientific and Technical Association for Water and the Environment in Tunisia (ASTEE<sup>Tunisie</sup>)

[www.iistec.org](http://www.iistec.org)

## Preface



**W**ater is life: it is integral to human food security and nutrition, and it is the

lifefood of ecosystems upon which all humans depend. Safe drinking water and sanitation are fundamental to the nutrition, health and dignity of all. Securing access to water can be particularly challenging for vulnerable populations and women. Water of sufficient quantity and quality is essential for agricultural production and for the preparation and processing of food. Irrigated agriculture accounts for 70 percent of all surface and ground water withdrawals globally. **Water is central to Food Security and Nutrition (FSN)**

1. *Water is life. Water is essential to food security and nutrition. It is the lifefood of ecosystems, including forests, lakes and wetlands, on which depend the food security and nutrition of present and future generations. Water of appropriate quality and quantity is essential for drinking and sanitation, for food production (fisheries, crops and livestock), food processing, transformation and preparation. Water is also important for the energy, industry and other economic sectors. Water streams and bodies are often key ways for transport (including inputs, food and feed). All in all, water supports economic growth, and income generation, and thus economic access to food.*
2. *Safe drinking water and sanitation are fundamental to the nutrition, health and dignity of all. Lack of access to safe drinking water, sanitation facilities and hygiene practices undermines the nutritional status of people through water-borne diseases and chronic intestinal infections. Despite significant advances in access to drinking water and sanitation, in 2012, according to WHO and UNICEF, globally 4 percent of the urban population and 18 percent of the rural population (but 47 percent of the rural population in Sub-Saharan Africa) still lacked access to an improved drinking water source<sup>2</sup> and 25 percent of the population lacked access to improved or shared sanitation.*
3. *According to FAO, in 2009, 311 million hectares were equipped with irrigation, 84 percent of those actually being irrigated, corresponding to 16 percent of all cultivated land and contributing to 44 percent of total crop production. Reliable irrigation is also essential to increasing and stabilizing incomes and provides livelihood resilience for a vast number of smallholder farmers. Irrigated agriculture is by far the largest water user globally, totalling 252 billion cubic meters of surface and groundwater withdrawals<sup>4</sup> in 2013<sup>7</sup>, equivalent to 6.5 percent of the global renewable freshwater resources flows, and 70 percent of anthropic withdrawals globally, with significant differences between countries: 90 percent in low income countries, 43 percent in high income countries.*

### Managing water scarcities in agriculture and food systems

1. *Improving water management in agriculture and food systems aims at improving the productivity of agriculture and food systems for FSN (availability, access, stability, nutrition), given water constraints. This can be achieved by improving water efficiency at all levels (how water is used, from ecosystems to plants) and by improving the agricultural water productivity (the ratio of output to the water input), in rainfed and irrigated systems.*
2. *Improving water management for FSN mobilises actions ranging from appropriate planning and optimization of resources, inputs and means of production, in both rainfed and irrigated systems, as well as along food chains, to sustainable management of ecosystems and landscapes which enhance, regulate and stabilize water provision. Water management will be key to the adaptation to climate change of agricultural systems both rainfed and irrigated.*
3. *For future food security, land and water management needs to preserve ecosystem functions and ensure the future of the resource. Sustainable management of ecosystems, and an ecosystem's approach to water management from local to continental levels is key to ensuring quantity and quality of water for food security and nutrition in the future.*

**Noureddine Gaaloul**

Professor of higher education and full Researcher in the National Institute of Research in Rural Engineering of Water and Forestry (University of Carthage- IRESA- INRGREF-Tunis).

Founder and Chief Editor International Journal Water Science and Environment Technologies

President of Scientific and Technical Association for Water and the Environment in Tunisia (ASTEE *Tunis*)

[www.iistec.org](http://www.iistec.org)



**International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)**

*Journal International Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (JISTEE)*

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688

**Open Access**

09 Volumes, 30 Issues, (427 Papers) and 1 Book



**Book (01):** *Why green water saving is not fully rewarded by farmers in mount kenya region*  
*A research frontier of pure: applied sciences and engineering, 120 pages, August 2022*

**Volume (ix): 4 Issues (25 Papers) Water -Agriculture-Climate'2024**

**Issue 1 – July 2024 (6 Papers)** *Water Agriculture and Climate Change*

**Issue 2 – Octobre 2024 (11 Papers)** *Water, Agriculture, Climate Change and Food Security Qualitative and quantitative characterization of water resourcessue*

**Issue 3 – Novembre 2024 (4 Papers):** *Water, Agriculture, Climate Change and Food Security Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing*

**Issue 4 –Decembre 2024 (5 Papers)** *Water, Agriculture, Climate Change and Food Security: Water-Agriculture and Food Security and Climate Change*

**Volume (viii): 4 Issues (27 Papers) Water -Drought-Climate'2023**

**Issue 1 – March 2023 (6 Papers)** *Water Scarcity, Rising Temperatures. Facing Climate Change, from the Fight to Adaptation?*

**Issue 2 – December 2023 (11 Papers)** *Water -Drought-Climate'2023 Integrated Water Resources Management*

**Issue 3 – December 2023 (6 Papers)** *Water -Drought-Climate'2023 Reuse of treated wastewater in agriculture*

**Issue 4 – December 2023 (7 Papers)** *Water -Drought-Climate'2023 Climate Change and Adaptation*

**Volume (vii): 4 Issues (32 Papers) Water -Health-Climate'2022**

**Issue 1 – March 2022 (7 Papers)** *Climate change: What effects on our health?*

**Issue 2 – June 2022 (10 Papers)** *Impacts of Climate Change on Water, Ecosystems and Human Health*

**Issue 3 – September 2022 (7 Papers)** *Water, Climate, Health, Disparities: Solutions*

**Issue 4 – December 2022 (8 Papers)** *Climate Changes Health: Water Quality and Accessibility*

**Volume (vi): 4 Issues (31 Papers) Water -Agriculture-Climate'2021**

**Issue 1 – April 2021 (11 Papers)** *Faced with climate and food issues: Reinventing Water-Agriculture-Climate relations*

**Issue 2 – June 2021 (6 Papers)** *Climate Change, Water, Agriculture - What trajectories?*

**Issue 3 – September 2021 (6 Papers)** *Climate Change, Water and Agriculture Towards Resilient Systems*

**Issue 4 – December 2021 (8 Papers)** *Climate Change, Water and Agriculture: What Strategies?*

**Volume (v): 2 Issues (27 Papers) Water -Climate'2020**

**Issue 1 – September 2020 (14 Papers)** *Water Resources and Climate Change.*

**Issue 2 – Décembre 2020 (13 Papers)** *Integrated Water Resources Management and Climate Change*

**Volume (iv): 2 Issues (68 Papers) Water -Energy-Climate'2019**

**Issue 1 – December 2019 (56 Papers)** *Integrated Water Resources Management*

**Issue 2 – December 2019 (12 Papers)** *Renewable Energies and climate change*

**Volume (iii): 3 Issues (103 Papers) Water -Environnement-Climate'2018**

**Issue 1 – April 2018 (62 Papers)** *Water Resources Management*

**Issue 2 – August 2018 (34 Papers)** *Environmental Earth Sciences*

**Volume (ii): 5 Issues (53 Papers) Water -Society-Climate'2017**

**Issue 1 – February 2017 (17 Papers)** *Qualitative and quantitative characterization of water resources.*

**Issue 2 – April 2017 (8 Papers)** *Assessment of water resources under pressure from humanity and climate change*

**Issue 3 – June 2017 (9 Papers)** *Vulnerability of Water Resources to Climate Change.*

**Issue 4 – August 2017 (8 Papers)** *Modeling the impact of anthropogenic and climatic changes on water resources*

**Issue 5 – October 2017 (11 Papers)** *Numerical Modeling in Hydraulics, Hydrology and Hydrogeology*

**Volume (i): 3 Issues (36 Papers) Water -Climate'2014**

**Issue 1 – April 2014 (17 Papers)** *Surface Water Resources in the Mediterranean Region.*

**Issue 2 – August 2014 (8 Papers)** *Ground Water Resources in the Mediterranean Region*

**Issue 3 – December 2014 (11 Papers)** *Climate Change in the Mediterranean Region*

Copyright © 2024 – Jistee Tous droits réservés



## Table of Contents

<b>Belaïd Hechmi</b> (Université Jendouba, ESIM – IRESA. Route du Kef Medjez El Bab) Ecoulement exceptionnel de l'automne 2023 au niveau des barrages Siliana, Nebhana et Lebna en Tunisie et situation d'invasement)	6
<b>Mohamed Belmahi</b> (Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc), <i>Mohamed Hanchane, El Houssaine Bouras, Kbalid Dhassi</i> . Évaluation du modèle AquaCrop-FAO pour la simulation du rendement du blé tendre pluvial dans le Domaine Agricole Louata (Maroc)	13
<b>Benguella Belkacem</b> , (Université de Tlemcen – Algérie) <i>Makboukbi Benamar</i> . Elimination des polluants chimiques par des argiles Algériennes	17
<b>Mohamed Rata</b> (Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana) <i>Abdelkader Sadenk, Bebnabes 1, Yacine Rata3, Hadj Djillali Djillali1, Abdelkader Douaoui</i> Etude De La Variabilité Des Précipitations Annuelles De Bassin Versant Du Chélif Dans Le Cadre Du Changement Climatique	22
<b>Abdoulaye Faty</b> (Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (SENEGAL), <i>Cheikh Diop, Waly Faye</i> . Rainwater and Wastewater Management: A Case Study of Dakar's Built-up area, Senegal	30
<b>Nadia Elabed</b> (Technical center of protected and geothermal crops, Gabes, Tunisia) <i>Asma Boubris, Mohamed Elasnad, Mansour Haddad</i> . Le déficit de l'utilisation de l'eau géothermale et des substrats locaux pour l'installation de la culture hors sol chez les petits agriculteurs au sud tunisien	42
<b>Sylvie Assemian-Niango</b> (Centre de Recherches Océanologiques (CRO), Abidjan, Côte d'Ivoire) <i>Aka Ebu Camille, Aka Charles Albéric</i> . Contamination par les pesticides organochlorés des eaux de la lagune aby (Côte d'Ivoire)	50
<b>Paulin Kilufya Kalomo Kitikimo</b> (Université de Lubumbashi, Ecole de Santé Publique, Unité de Toxicologie et Environnement, RDC,) <i>Clark Kapalu Kabamba, Irène Kabange Umba</i> . Relation Longueur-Poids et facteur de condition de <i>Oreochromis niloticus</i> et <i>Clarias gariepinus</i> pêchés dans les lacs Katebi et Nzilo dans la Province du Lualaba en République Démocratique du Congo	61
<b>Adolphe Diatta</b> (Université Cheikh Anta Diop de Dakar ) <i>Moustapha Diene, Didier Maria Dione, Issa Leye, Moussé Landing Sane, Daouda Badiane, Baba Sarr, Soussou Sambou, Saïdou Moustapha Sall</i> . Etude comparative d'un lessivage de sols salés sulfatés acides en milieux contrôlés	67
<b>Mahamadou Hima Abdoulaye</b> (University of André Salifou, Zinder, Niger) <i>Yabouza Zaneidou, Amadou Haoua</i> . Contrôle de la qualité physico-chimique et microbiologique des ressources en eaux souterraines du continental Hamadien/Intercalaire de la région de Tahoua (Sud-Est du Niger)	79
<b>David Mfwana Inabanza</b> (Université de Lubumbashi RDC) <i>Célestin Banza Lubaba Nkulu, Isidore Ilunga Inabanza</i> . Relation longueur-poids et facteur de condition de cinq espèces de poisson de la zone stanni-fère du Katanga avant son ouverture à l'exploitation minière industrielle (République Démocratique du Congo).	88

[www.iistee.org](http://www.iistee.org)

[iistee@iresa.agrinet.tn](mailto:iistee@iresa.agrinet.tn)  
[iistee@yahoo.com](mailto:iistee@yahoo.com)

## Écoulement exceptionnel de l'automne 2023 au niveau des barrages Siliana, Nebhana et Lebna en Tunisie et situation d'envasement

Belaid Hechmi<sup>1</sup>,

1. Université Jendouba, ESIM – IRESA. Route du Kef Medjez El Bab.

### Résumé

*L'eau précipitée sur un bassin versant va se répartir en eau interceptée, évaporée, infiltrée et écoulee. L'écoulement de l'eau à la surface dépend beaucoup de l'intensité de pluie et des conditions antérieures du sol.*

*L'année 2023 représente une année exceptionnelle par excellence. La fréquence de la sécheresse est étudiée pour les années hydrologiques 22/23 et 23/24. Les coefficients de ruissellement calculés pour les quelques crues enregistrées sur les trois bassins versants de Siliana, Nebhana et Lebna sont très faibles de l'ordre de 1 à 2%. Chose qui est rarement enregistré pour ces bassins versants. Ce qui montre la faiblesse de l'écoulement et les valeurs trop faible de volume d'eau encaissée dans les barrages.*

*L'envasement qui lui représente une menace pour tous les barrages et en particuliers pour ces trois derniers est analysé et discuté en long pour les trois retenues. Le barrage Siliana en particulier est en état très critique du fait que le taux d'envasement dépasse les 50%.*

*On discute aussi l'importance des travaux de CES à l'amont des trois bassins versants. Ceux-ci jouent un rôle primordial dans la protection des sols sur place et la réduction du transport solide et la prolongation de la durée de vie des barrages. Aussi les mesures d'adaptation doivent être prises en compte que ce soit à l'échelle de la parcelle ou à l'échelle des cours d'eaux.*

**Mots clés ::** Bassin versant, Barrage, Écoulement, Envasement, Siliana, Nebhana, Lebna..

## Exceptional water flow of the 2023 autumn at the Siliana, Nebhana and Lebna dams and siltation situation

### Abstract

*Rainfall over one watershed will be distributed on intercepted water, evaporated, infiltrated and flowed. Water flow at the surface depends on rainfall intensity and soil previous conditions.*

*The year 2023 represent an exceptional dry year. The frequency is studied for the hydrological 22/23 and 23/24 years. Runoff coefficient calculated for registered floods over the three watersheds of Siliana, Nebhana and Lebna are very low from 1 to 2%. This is rarely registered over these watersheds. It shows the weakness of the surface flow and he very lowof water volume stocked in the dams.*

*Dam siltation represents a threat to all dams and in particular to these three dams. Siliana dam in particular is a critical situation in that the siltation rate exceeds 50%.*

*We discuss also the importance of soil conservation measures in the three watersheds. These measures play an important role in soil protection and sediment decrease which increases dam's life. The adaptation measures to these conditions have to be undertaken at the field scale and water bodies.*

**Keywords:** watershed, Dam, runoff, siltation, Nebhana, Siliana, Lebna

<sup>1</sup> Corresponding author: [belaidhfr@yahoo.fr](mailto:belaidhfr@yahoo.fr)

## INTRODUCTION

Le milieu méditerranéen semi-aride tunisien est sujet à des pluies intenses qui causent des érosions et des inondations fortes (Belaid et Habaieb, 2017), mais aussi à des sécheresses qui deviennent de plus en plus aiguës et persistantes.

La sécheresse est un phénomène climatique récurrent. Elle n'est pas propre à un type particulier de climat et peut s'inscrire à des échelles spatio-temporelles très variées. Evènement climatique dans sa phase initiale, commence par un déficit pluviométrique (CNULCD, 2020). Si le déficit persiste, la sécheresse s'étend progressivement à tous les domaines où l'eau transite (sols, végétaux, nappes d'eau souterraine, rivières, barrages, etc.).

On distingue plusieurs types de sécheresses (OMM, 2006), la sécheresse météorologique, la sécheresse agricole, la sécheresse hydrologique, la sécheresse écologique et même la sécheresse socioéconomique.

Le déficit d'écoulement de surface dépend de la sécheresse météorologique mais cause la sécheresse hydrologique. En fait d'après Musy (2005), les processus régissant la génération des écoulements sont encore mal connus. Ceci est dû en partie au fait que les réponses aux deux questions essentielles de l'hydrologie sont multiples. On peut finalement tenter de répondre - du moins partiellement - aux deux questions « quel est le devenir de l'eau des pluies ? » (Penmann, 1963) et « quelle est la provenance de l'eau des rivières ? » en distinguant dans un premier temps quatre cheminements principaux de l'eau à la rivière. Précipitations directes  $P_d$  à la surface libre du cours d'eau ("direct precipitation"). Ecoulement de surface ("overland flow") ou ruissellement de surface. La notion de "ruissellement" traduisant assez mal les processus physiques de génération de l'écoulement, est de plus en plus souvent abandonné au profit de la notion "d'écoulement". Ecoulement de subsurface  $R_s$  ("subsurface flow", "throughflow", "interflow") que l'on peut aussi traduire par "écoulement rapide interne". Ecoulement souterrain ("groundwater flow").

On peut également décomposer l'écoulement de surface par rapport aux modalités de l'écoulement (les causes) (Musy, 2005) : Ecoulement par dépassement de la capacité d'infiltration ou ruissellement hortonien ("excess infiltration overland flow", "Horton overland flow"). Ecoulement par saturation ("excess saturation overland flow") constitué par l'écoulement en surface des précipitations directes tombées sur les surfaces saturées.

Les objectifs de ce travail de recherche sont d'étudier la sécheresse exceptionnelle durant les années hydrologiques 22/23 et 23/24 et d'étudier l'écoulement à l'échelle mensuelle et à l'échelle des averses au niveau des barrages Nebhana, Siliana et Lebna.



Fig. 1 – Types de sécheresses (OMM, 2006).

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude concerne les trois barrages Nebhana, Siliana et Lebna (Figures 2, 3 et 4), les trois bassins versants concernés appartiennent à un bioclimat semi-aride.

Le bassin versant de Nebhana, à l'Est de la Tunisie centrale, s'étend sur quatre gouvernorats (Sousse, Kairouan, Siliana et Zaghouan). Sa superficie est d'environ 3983 km<sup>2</sup>. Il transporte les apports de la dorsale Tunisienne vers Sebkhel El Kelbia au Nord-Est de Kairouan. Le barrage Nebhana est créé en 1965 le bassin versant du barrage occupe une superficie de 855 km<sup>2</sup>. L'apport moyen annuel au niveau du barrage est de 23.3 Mm<sup>3</sup>/an avec une capacité initiale de la retenue de 86.5 Mm<sup>3</sup>. La capacité utile actuelle à la retenue normale est de 58.76 Mm<sup>3</sup>. Le volume régularisé calculé est de 15 Mm<sup>3</sup>. Le débit maximum évacué est de 4000 m<sup>3</sup>/s. Le bassin versant est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride où les étés sont chauds et secs et les hivers humides et frais. Les précipitations sont très irrégulières dans le temps et dans l'espace. L'été est la saison la plus chaude avec des moyennes supérieures à 30°C. L'hiver enregistre des moyennes inférieures à 10°C, avec un minimum pour le mois de février de 7°C (Nouiri et al, 2015). Les précipitations sont irrégulières généralement de courtes périodes et de fortes intensités. La région connaît une fluctuation dans la pluviométrie d'une année à une autre mais la moyenne est autour de 300 mm.

Le bassin versant de Siliana, au Nord Ouest de la Tunisie, s'étend sur les gouvernorats de Siliana et Béja. Il constitue un affluent rive droite de la Medjerda avec une superficie de 2066 km<sup>2</sup>. Le barrage Siliana est créé en 1987 le bassin versant du barrage occupe une superficie de 1040 km<sup>2</sup>. L'apport moyen annuel au niveau du barrage est de 36.39 Mm<sup>3</sup>/an avec une capacité initiale de la retenue de 70 Mm<sup>3</sup>. La capacité utile actuelle est de 31 Mm<sup>3</sup>. Le débit d'évacuation est estimé à 3230 m<sup>3</sup>/s. Le bassin versant est caractérisé par un climat aussi semi-aride avec des étés chauds et secs et des hivers humide et froid. La moyenne de température de l'été est autour de 27°C et l'hivers est entre 9 et 14°C (Chabaane, 2016). Les précipitations sont irrégulières et connaissent aussi des fluctuations mais la moyenne est autour de 500 mm.

Le bassin versant de Lebna se situe dans le Nord Est de la Tunisie dans la région de Cap Bon. C'est un bassin qui déverse directement dans la mer Méditerranée. Le barrage Lebna est construit en 1988. Le bassin du barrage est d'environ 200 km<sup>2</sup>. L'apport moyen annuel est de 18.31 Mm<sup>3</sup> avec une capacité initiale de la retenue de 30.1 Mm<sup>3</sup>. Le bassin versant est caractérisé par un climat méditerranéen semi-aride où les étés sont chauds et secs et les hivers humides et frais. La température moyenne à Lebna est de 18.5 °C et la moyenne pluviométrique est de 435 mm et les valeurs maximales peuvent atteindre les 800 mm en années pluvieuses (Mekki et al., 2018). Les méthodes utilisées dans ce travail reposent sur l'analyse des fréquences des pluies sèches (Henia, 2014) et le calcul des coefficients d'écoulement selon la détermination de la pluie nette (Musy, 2005). La méthode des fréquences considère que les années avec des totaux pluviométriques d'une fréquence égale ou inférieure à 15 % sont des années très sèches, les années avec des totaux pluviométriques d'une fréquence comprise entre 15 et 35 % sont des années sèches, celles avec des totaux d'une fréquence comprise entre 35 et 65 % sont des années normales, les totaux d'une fréquence comprise entre 65 % et 85 % sont ceux des années humides et ceux d'une fréquence égale ou supérieure à 85 % sont ceux des années très humides.

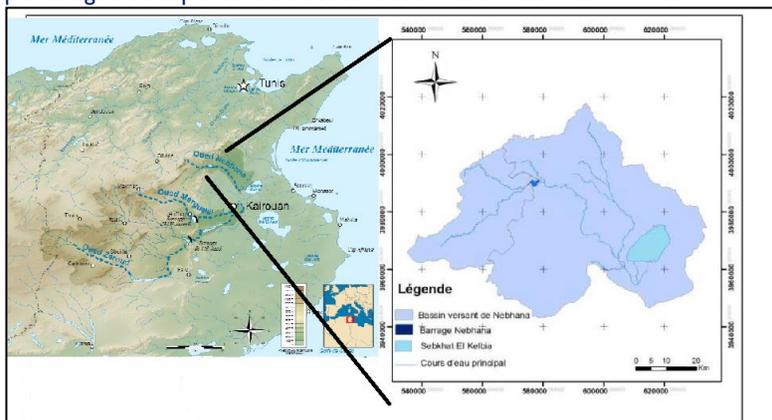


Fig. 2 - Localisation géographique du barrage Nebhana.

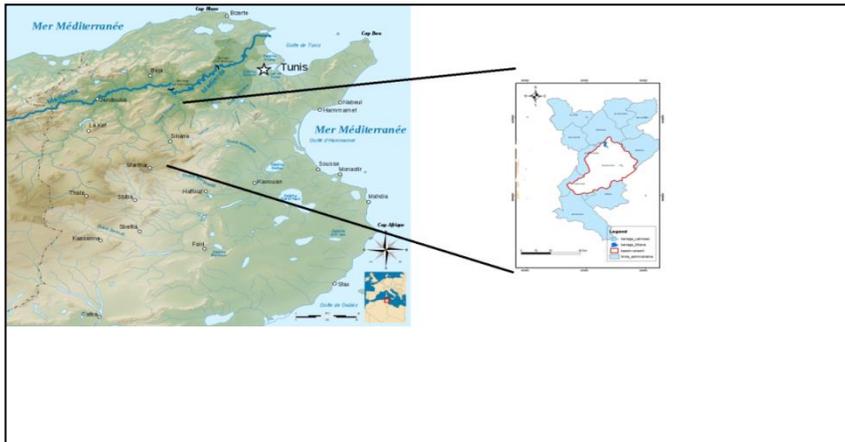


Fig. 3 - Localisation géographique du barrage Siliiana.

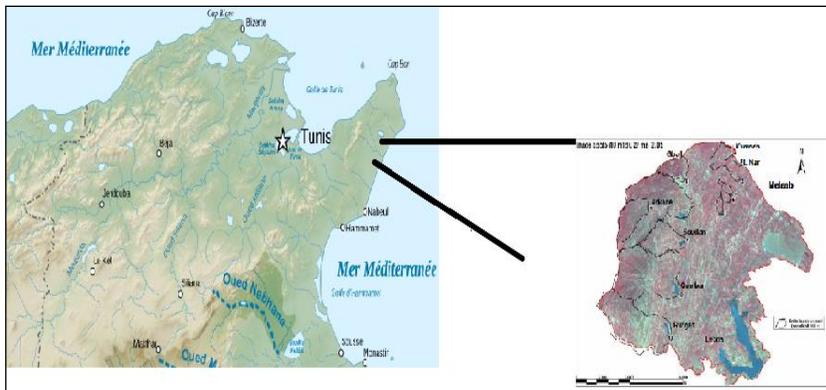


Fig. 4 - Localisation géographique du barrage Lebna.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Pluviométrie des années hydrologiques 22/23 et 23/24

Les totaux pluviométriques des années hydrologiques 22/23 et 23/24 sont respectivement 160 et 155 mm à Nebhana, 266 et 233 mm à Siliana et 348 et 225 mm à Lebna. En appliquant la méthode des fréquences on peut considérer que les deux années considérées sont très sèches dans les trois stations. En particulier à Lebna la pluviométrie de l'année 23/24 est extrêmement sèche et elle n'a jamais été enregistrée du moins durant les vingt dernières années.

Les figures 5, 6 et 7 donnent la répartition mensuelles de la pluie durant les deux années hydrologiques au niveau des trois stations. On remarque que le seuil 20 mm (en rouge) est rarement atteint.

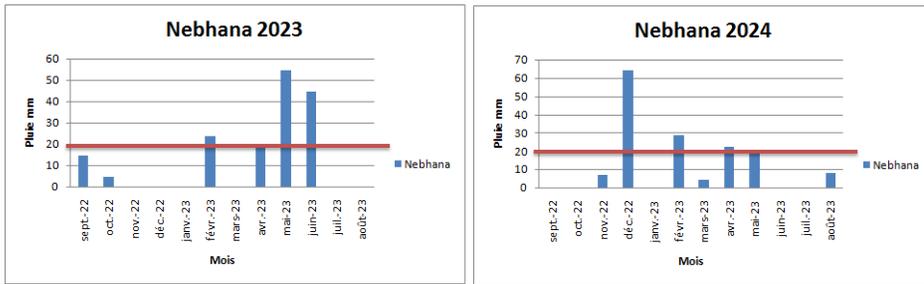


Fig. 5 – Pluviométrie des années hydrologiques respectives 22/23 et 23/24 à Nebhana.

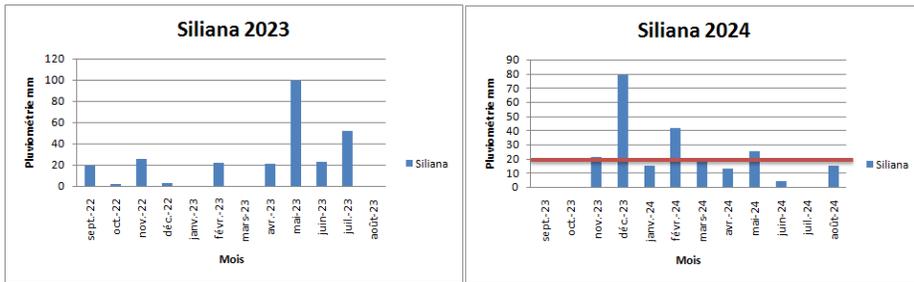


Fig. 6 – Pluviométrie des années hydrologiques respectives 22/23 et 23/24 à Siliana.

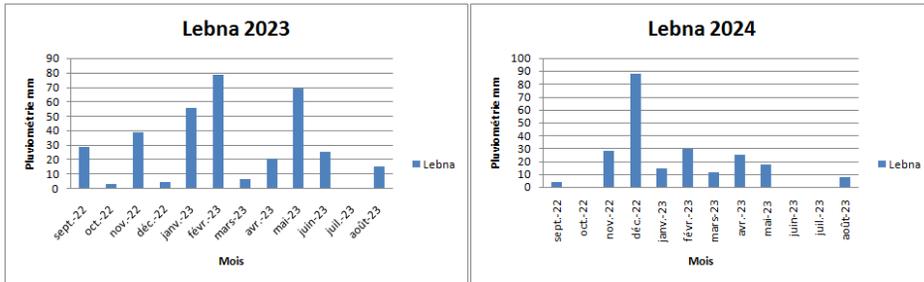


Fig. 7 – Pluviométrie des années hydrologiques respectives 22/23 et 23/24 à Lebna.

### Écoulement à l'échelle mensuelle

Les mois de septembre et octobre de l'Automne 2023 sont pratiquement secs et par conséquent il n'y a pas d'écoulement vers les barrages. Le mois de novembre quant à lui il a enregistré quelques écoulements mais qui restent trop faibles avec un coefficient qui est entre 1 et 2% (Tableau 1).

Le mois de mai 2023 était un mois exceptionnel sur le point de hauteur pluviométriques enregistrées qui dépassent les 100 mm dans la station de Siliana par exemple. Toutefois, les écoulements restent faibles (Tableau 2) à causes des sécheresses dans les mois qui précèdent ce qui influe sur l'état des sols qui sont devenus très secs.

Tableau 1. Coefficient d'écoulement mensuel du mois de novembre 2023 dans les stations Siliana, Nebhana et Lebna

<b>Barrage</b>	<b>Hauteur pluie</b>	<b>Volume ruisselée Mm3</b>	<b>coefficient d'écoulement</b>
Siliana	28.5 mm	0.551	1.86%
Nebhana	7 mm	0.066	1.1%
Lebna	28 mm	0.052	1%

Tableau 2. Coefficient d'écoulement mensuel du mois de mai 2023 dans les stations Siliana, Nebhana et Lebna

<b>Barrage</b>	<b>Hauteur pluie</b>	<b>Volume ruisselée Mm3</b>	<b>coefficient d'écoulement</b>
Siliana	114 mm	1.751	1.47%
Nebhana	54.5 mm	0.278	0.6%
Lebna	69 mm	0.127	0.92%

### Écoulement à l'échelle des crues

Durant les mois de septembre et octobre de l'Automne 2023 on n'a pas enregistré de crues. Durant le mois de novembre 2023 les crues sont faibles. Les crues du 9 et 10 décembre 2023 révèlent une légère importance. On a calculé les coefficients d'écoulement de ces crues (tableaux 3 et 4), ces coefficients restent faibles et varient entre 0 et 6%.

Tableau 3. Coefficient d'écoulement à l'échelle des crues cas du 9 décembre 2023 dans les stations Siliana, Nebhana et Lebna

<b>Barrage</b>	<b>Hauteur pluie</b>	<b>Volume ruisselée Mm3</b>	<b>Coefficient d'écoulement</b>
Siliana	20 mm	0.032	0.15%
Nebhana	9 mm	0.011	0.14%
Lebna	18.5 mm	0.01	0.27%

Tableau 4. Coefficient d'écoulement à l'échelle des crues cas du 10 décembre 2023 dans les stations Siliana, Nebhana et Lebna

Barrage	Hauteur pluie	Volume ruisselée Mm3	Coefficient d'écoulement
Siliana	6 mm	0.373	6%
Nebhana	0 mm	0.002 (résiduel)	0%
Lebna	5 mm	0.001	0.1%

### Etat d'envasement des barrages

Les résultats montrent que le barrage Nebhana est actuellement envasé à environ 25% de sa capacité totale et que la dégradation spécifique est de l'ordre de 4.5 m<sup>3</sup>/ha/an. Les résultats pour le barrage Siliana montrent que le barrage est actuellement envasé à environ 55.7% de sa capacité totale. L'érosion spécifique moyenne calculée à l'échelle du bassin versant est donc de 11.4 m<sup>3</sup>/ha/an. Le barrage Lebna est actuellement envasé à environ 15% de sa capacité totale avec une dégradation spécifique de l'ordre de 6.5 m<sup>3</sup>/ha/an. Les inondations 2018 à Nabeul avec les fortes pluies ont dévasées légèrement le barrage Lebna qui enregistre le plus faible taux d'envasement parmi les trois barrages.

### Mesures d'adaptation

La première mesure concerne la bonne gestion de l'eau en effet il faut bien gérer l'excès durant les années très pluvieuses, éviter les gaspillages et les pertes dans les réseaux divers, et introduire des techniques nouvelles d'économie d'eau. La deuxième mesure concerne les travaux de conservation des eaux et des sols (CES) qu'il faut multiplier sur les deux bassins versant afin de retenir le maximum de sédiments et de pouvoir prolonger par conséquent la durée de vie des barrages. Ces travaux concernent aussi bien les parcelles que les voies d'eaux. Particulièrement les ouvrages de protection en gabions constituent un moyen efficace de rétention des sédiments.

### CONCLUSION

Les années 2022/23 et 2023/24 sont caractérisées par une sécheresse exceptionnelle dans les stations Nebhana, Siliana et Lebna. Les écoulements sont très faible et les apports vers les trois barrages sont négligeable que ce soit à l'échelle mensuelle ou à l'échelle des crues. L'envasement des barrages Nebhana et Siliana est devenu un problème pertinent qui a des effets sur la quantité et la qualité des eaux surtout pour Siliana avec un taux qui dépasse les 50%. Les mesures d'adaptation s'imposent et doivent tenir en compte les changements climatiques. Les travaux de conservations des eaux et des sols qui existent déjà au niveau du bassin versant que ce soit au niveau de la parcelle ou au niveau des voies d'eaux doivent être renforcés et multipliés. Dans le même temps, des mesures de vulgarisation et de sensibilisation auprès de la société civile doivent être menées et encouragées.

### Références

1. Belaid et Habaieb, 2017. Etude de l'érosivité des pluies et de l'érosion spécifique, répercussions sur les pertes en terres et mesures d'adaptation en milieu semi-aride Tunisie. 7<sup>ème</sup> séminaire du réseaeau et climat. Comment gérer la ressource en eau dans un contexte de changement climatique global. Université Rouen Normandie France 20 - 21 décembre 2017.
2. Chaabane, C. 2016. Modélisation de l'érosion hydrique par le modèle SEAGIS. Cas du bassin versant du barrage Siliana. Mémoire de Master de recherche en sciences de la terre. Faculté des sciences Tunis.
3. Convention des nations unies pour la lutte contre la désertification CNULCD, 2020. Plan national sécheresse Tunisie. 116p.
4. Henia, L. 2014. Les grandes sécheresses en Tunisie au cours de la dernière période séculaire. Eau et Environnement, ENS éditions. p. 25-36.
5. Nouri, I. Saidi, F., Romdhane, A., Brini, R., Bouslama, A., Elbeji R., Ayoub, T. et Tarhouni, J. 2015. Modélisation par WEAP des ressources en eaux et des usages du système Nebhana en Tunisie. Colloque Eau Climat 2015, 24 et 25 novembre 2015, Constantine. Algérie.
6. Mekki I., Jean-Stéphane Bailly, Frédéric Jacob, Hichem Chebbi, Tarek Ajmi, et al. 2018. Impact of farmland fragmentation on rainfed crop allocation in Mediterranean landscapes: A case study of the Lebna watershed in Cap Bon, Tunisia. Land Use Policy, Elsevier, 2018, 75, pp.772 - 783.
7. Musy, A. 2005. Hydrologie générale. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne EPFL, Suisse.
8. Organisation Météorologique Mondiale (OMM), 2006. Suivi de la sécheresse et alerte précoce: principes, progrès et enjeux futurs, 26p.

## Évaluation du modèle AquaCrop-FAO pour la simulation du rendement du blé tendre pluvial dans le Domaine Agricole Louata (Maroc)

Mohamed Belmahi<sup>1</sup>, Mohamed Hanchane<sup>2</sup>, El Houssaine Bouras<sup>3</sup>, Khalid Dhassi<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc.

<sup>2</sup>Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc,

<sup>3</sup>Université Mohammed VI Polytechnique, Ben Guérir, Maroc,

<sup>4,5</sup> Ecole Supérieure de Technologie D'El Kelaa Des Sraghna. Laboratoire de Biotechnologies Microbiennes, Agrosciences et Environnement (BioMAGe), Unité de Recherche Labellisée-CNRST N° 4, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.

### Résumé

*AquaCrop-FAO est un modèle agropédoclimatique permet de simuler divers aspects de la culture, tels que la phénologie, la profondeur d'enracinement, la production de biomasse, le rendement en grains, le bilan hydrique et l'évapotranspiration réelle. L'objectif principal du modèle est d'évaluer l'impact de l'environnement sur la productivité des cultures et d'assurer la sécurité alimentaire. Cette étude vise de calibrer et de valider le modèle AquaCrop pour la simulation du rendement du blé tendre rendements céréaliers dans le Domaine Agricole Louata entre 2016-2019. Les résultats obtenus de la simulation du blé tendre révèlent une erreur quadratique moyenne (EQM) de 1.58 quintal/ha entre le rendement observé et celui simulé, avec un coefficient de corrélation, un coefficient de détermination et un indice de Willmott de 0.99. Le modèle a donc légèrement surestimé les rendements observés.*

**Mots clés :** AquaCrop, Calibration, Validation, Blé tendre, Domaine Agricole Louata

### Evaluation of the AquaCrop-FAO model for simulating rainfed soft wheat yields in the Louata Agricultural Domaine (Morocco)

#### Abstract

*AquaCrop-FAO is an agropedoclimatic model that can be used to simulate various aspects of the crop, such as phenology, rooting depth, biomass production, grain yield, water balance and actual evapotranspiration. The main objective of the model is to assess the impact of the environment on crop productivity and to ensure food security. The aim of this study is to calibrate and validate the AquaCrop model for simulating soft wheat yields in the Louata Agricultural Estate between 2016 and 2019. The results obtained from the soft wheat simulation reveal a root mean square error (RMSE) of 1.9 quintals/ha between the observed yield and the simulated yield, with a correlation coefficient, a coefficient of determination and a Willmott index of 0.99. The model therefore slightly overestimated observed yields.*

**Keywords:** AquaCrop, Calibration, Validation, Soft wheat, Domaine Agricole Louata

<sup>1</sup> Corresponding author: [mohamed.belmahdi2@usmba.ac.ma](mailto:mohamed.belmahdi2@usmba.ac.ma)

## INTRODUCTION

Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est une espèce de type graminée annuelle ou bisannuelle, cultivée depuis l'antiquité. Il est utilisé à des fins diverses : blés pour la panification, blés pour la biscuiterie, pour la fabrication de carburant et pour l'alimentation animale, en particulier dans quelques pays développés et émergents [1]. La culture du blé est pratiquée dans la plupart des endroits du monde, de l'équateur aux zones tempérées et jusqu'à une altitude de 3000 m [2]. Le blé était la troisième céréale la plus produite après le maïs et le riz, avec une moyenne annuelle de production mondiale de 740,40 millions de tonnes durant la décennie 2013-2023, sur une superficie cultivée de 217,4 millions d'hectares [3]. Au Maroc, les céréales d'automne occupent une place prépondérante dans l'agriculture nationale et peuvent être considérées comme le tableau de bord de l'agriculture [4], [5]. La consommation de céréales par habitant au Maroc est parmi les plus élevées au monde, chaque Marocain consommant en moyenne 255 kg de blé par habitant/an, soit quatre fois la moyenne mondiale, ce qui reflète son rôle clé dans la sécurité alimentaire nationale [6]. En effet, les céréales restent l'un des produits alimentaires de base, présents dans tous les repas quotidiens des Marocains. La moyenne annuelle de la production était de 35,5 x 10<sup>3</sup> quintaux sur une superficie emblavée de 1951 x 10<sup>3</sup> ha. et un rendement moyen annuel de 17 quintal/ha durant la période 2013-2023 [7]. La modélisation constitue un outil permettant d'évaluer l'impact de l'environnement et de la gestion sur la productivité des cultures, et de mettre au point des stratégies pratiques agricoles pour accroître la productivité de l'eau des cultures. La variabilité du rendement due aux variations saisonnières des précipitations ne peut être déterminée à l'aide de méthodes traditionnelles. Des modèles de simulation de la croissance des cultures constituent une alternative appropriée. Grâce à ces modèles, on peut simuler la croissance des cultures, le bilan hydrique du sol, la transpiration de la culture, et l'évapotranspiration maximale, ainsi que le rendement des cultures. Ceux-ci peuvent être appliqués pour évaluer les options de gestion et de planifications des exploitations agricoles [8]. Le modèle AquaCrop a été employé pour simuler les rendements de plusieurs cultures [9], [10], [11], [12], [13]. Par ailleurs, le modèle ne permet pas de simuler des cultures pérennes d'arbres ou de vignes, car la réaction du rendement vis-à-vis des processus de répartition de l'eau ou de la biomasse est bien plus complexe et reste mal appréhendée [14]. Dans ce contexte, l'objectif de cet article est de calibrer et de valider AquaCrop pour la simulation des rendements céréaliers, et de de simuler, à l'aide du modèle, les effets de différents scénarios d'irrigation sur le rendement du blé tendre, ainsi que de dériver des indices agropédoclimatiques qui peuvent être utilisés pour expliquer la variabilité des rendements.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### Description du site et collecte de données

Les données des trois saisons céréaliers successives 2016-2017, 2017-2018 et 2018-2019 du Domaine Agricole Louata, qui est situé dans la province du Séfrou, ont été utilisées pour la calibration et la validation du modèle. Ce domaine constitue une grande exploitation agricole dont l'altitude varie de 410 à 760 m, et qui couvre environ 3000 ha, dont 2000 ha réservés aux cultures céréaliers d'automne du blé et de l'orge [15]. Le climat est semi-aride, avec une pluviométrie moyenne de 360,4 mm. La majorité des précipitations tombent entre octobre et avril, avec des fluctuations annuelles modérées, dont le coefficient de variation était de 31 % au cours de la période 1992-2018. Le sol est de type limoneux-argileux. Les caractéristiques des champs de blé tendre et du matériel végétal qui ont été utilisés pour calibrer et valider le modèle sont indiquées dans le tableau 1. Dans un premier temps, la calibration du modèle a été réalisée sur deux champs au cours de la campagne agricole 2016/2017. Par la suite, la validation a été effectuée sur sept champs au cours de deux campagnes agricoles 2017-2018 et 2018-2019. Les champs de la calibration et de validation sont indiquées dans le tableau. Tous les champs étaient cultivés en blé tendre avec des variétés différentes.

Tableau 1: Champs de calibration et de validation du modèle AquaCrop dans la zone d'étude

	N° parcelle	Surface en hectare	Date de semis	Densité de semis (q/ha)	Variété
Champs de calibration	2004-1	68	29/10/2016	1,86	Bandera
	2005-1	61	8/11/2016	1,84	Resultat
	3002	31	06/12/2017	1,89	Bandera
Champs de validation	3004-1	29	02/12/2017	1,99	Rahma
	3004-2	19	03/12/2017	2,15	Serim
	3003-0	85	29/11 au 07/12/2018	1,7	Arehanne
	3006-2	24	28/11/2018	1,9	Remax
	3007-1	90	22/11 au 30/11/2018	1,9	Resulton
	3008-2	90	30/11 au 08/12/2018	1,8	Achtar

### Brève description du modèle AquaCrop -FAO et les paramètres de calibration-validation

AquaCrop est un modèle de culture gratuit. Il est élaboré la FAO en 2009, disponible sur le site de la FAO [https://www.fao.org/aq\\_uacrop/en/](https://www.fao.org/aq_uacrop/en/). L'objectif du modèle est de garantir la sécurité alimentaire et d'évaluer l'impact de l'environnement et de la gestion sur la productivité de l'eau de quatre types de cultures pluviales et irriguées et pour affronter la pénurie d'eau dans le monde [16], [17], [18]. Il fournit une estimation des besoins en irrigation, une comparaison entre le rendement potentiel dans des conditions optimales et le rendement réel, et permet de planifier les meilleures mesures de gestion des champs et des cultures. En outre, Il permet de connaître les réactions des cultures au stress hydrique par quatre mécanismes végétaux principales : expansion de la canopée, contrôle stomatique de la transpiration, sénescence du couvert et indice de récolte. Le modèle AquaCrop permet de calculer de manière distincte la transpiration de la plante et l'évaporation du sol, et donc de déterminer la quantité d'eau productive et le non consommée par la végétation. Le modèle AquaCrop a été choisi pour sa facilité d'utilisation, sa parcimonie et ses résultats nombreux, pertinents et robustes [19], [20]. Il nécessite peu de données d'entrée : les précipitations journalières, température minimales et maximales journalières, l'évapotranspiration journalières, les données relatives au sol et au culture. Ces données sont fournies par la Direction Provinciale de l'Agriculture de Sefrou. Cependant, le modèle offre un large éventail de résultats.

### Calibration des paramètres physiologiques et phénologiques du blé tendre

Conformément aux directives du modèle AquaCrop, les paramètres physiologiques et phénologiques doivent être calibrés pour simuler les effets des facteurs climatiques et agronomiques sur la croissance et le rendement du blé tendre, ainsi que sur le bilan hydrique du sol et la productivité de l'eau de pluie. Cette calibration concerne les paramètres ci-après : expansion du couvert végétal ; coefficients de stress hydrique ; productivité de l'eau de pluie ; caractéristiques du sol ; profondeur d'enracinement basée sur les données du sol et la densité de semis. Les valeurs conservatrices et calibrées des cultures sont issues de la littérature et du fichier de référence du blé appelé "WheatGDD", en prenant en compte les paramètres affichés dans le tableau 2 :

Tableau 2: Paramètres de culture conservatifs et calibrés utilisés dans AquaCrop

Paramètres	Valeurs									
	Champs de calibration			Champs de validation						
	2004-1	2005-1	3002	3004-1	3004-2	3003-0	3006-2	3007-1	3008-2	
Température en dessous de laquelle la croissance s'arrête	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Température au-dessus de laquelle la croissance s'arrête	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
Le taux de la couverture maximale de la canopée	90	90	88	90	90	90	70	64	64	
Le taux de la couverture de la canopée à 90% de la levée (CO0)	5.5	5.38	5.53	5.88	6.38	5.85	5.53	5.53	5.85	
Coefficient de croissance de canopée (CGC)	6.5	5.8	6.9	7	7.1	7.6	6.4	5.9	5.6	
Coefficient de déclin de la canopée (CDC)	0.76	0.76	0.78	0.76	0.76	0.76	0.57	0.69	0.69	
Seuil supérieur pour l'expansion de la canopée	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
Seuil inférieur pour l'expansion de la canopée	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Seuil supérieur pour la fermeture des stomates	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	
Facteur de la forme du coefficient de stress pour la fermeture des stomates	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
Profondeur d'enracinement effective maximale	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Productivité d'eau	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Indice de récolte	51	51	51	51	51	51	51	51	51	
Durée du semis à l'émergence	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
Du semis à la couverture maximale	678	580	556	580	522	592	676	706	758	
Du semis à la profondeur maximale d'enracinement	602	602	414	602	602	602	602	602	602	
Du semis au début de la sénescence	1103	1103	1103	1103	1103	1103	1103	1103	1103	
Du semis à la maturité	1316	1278	1430	1278	1278	1278	1278	1278	1278	
Du semis à la floraison	507	678	507	678	678	678	678	678	678	

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Rendement simulé du blé tendre par le modèle AquaCrop

Les résultats obtenus de la simulation du blé tendre montrent une erreur quadratique moyenne (EQM) de 1.9 quintal/ha entre le rendement observé et celui simulé, avec un coefficient de corrélation, un coefficient de détermination et un indice de Willmott de 0,99. Le modèle a donc légèrement surestimé les rendements observés. Ce résultat très satisfaisant nous amené à vérifier la robustesse du modèle. En effet, ce résultat est meilleur que celui observé par [11] (EQM = 5,8 Qx/ha) pour le blé tendre dans la province de Meknès. Aussi, il est plus performant que ceux obtenus par [21], où les auteurs ont obtenu un écart (EQM) de 10,2 q/ha entre le rendement du blé dur observé et celui simulé à la commune Marchouch dans la province de Khémisset. Cependant, [22] ont obtenu un EQM de 3,7 q/ha qui est comparable à nos résultats. De même, [9] ont obtenu un EQM de 2,4 q/ha. Cependant, [23] ont obtenu un EQM de 0,6 Qx/ha beaucoup meilleur que le nôtre. Il faut souligner qu'il s'agit d'une simulation du rendement en grains du blé d'hiver en irrigué dans la plaine de Tensift au Maroc. Dans un autre contexte climatique, [24] ont obtenu un EQM de 3 Qx/ha dans région du Terai, au nord de l'Inde.

Tableau 3: Rendements observés et simulés du blé tendre à la station d'expérimentation agronomique de Louata à l'aide du modèle AquaCrop-FAO

	N° parcelle	Rendement observé	Rendement simulé	R	R²	EQM	Indice de concordance (d)
Champs de calibration	2004-1	63.44	63.6	0.99	0.99	1.9	0.99
	2005-1	62.50	63.50				
	3002	15.93	16.64				
Champs de validation	3004/1	28.94	29.05				
	3004/2	33.29	31.27				
	3003/0	19.47	20.7				
	3006/2	6.32	7.6				
	3007/1	5.41	9.97				
	3008/2	7.02	8.8				

## Conclusion

Enfin, le modèle AquaCrop est un outil performant destiné à analyser divers aspects agronomiques relatifs à la production agricole, notamment le bilan hydrique du sol, la croissance et le développement des cultures, et le rendement en fonction de diverses pratiques d'utilisation et de gestion de l'eau. Ce modèle est également utile pour déterminer la date de semis la plus propice à la culture des céréales dans un contexte de stress hydrique. Le modèle nécessite des données locales observées pour le calibrer. Les résultats obtenus révèlent que le modèle est parfaitement capable à simuler la réponse des cultures aux conditions de l'environnement et à la gestion des champs agricoles. Le modèle AquaCrop peut être utilisé pour planifier l'irrigation et améliorer le rendement des céréales.

## Références

- [1] S. Demerre, « Evaluation de la performance du modèle Aquacrop pour la prévision des rendements du blé tendre (*triticum aestivum*) au Maroc (province de Meknès) », Master en sciences et gestion de l'environnement, Université de Liège, Faculté des Sciences, Belgique, 2017.
- [2] H. J. Farahani, G. Izz, et T. Y. Oweis, « Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigated Cotton », *Agron. J.*, vol. 101, n° 3, Art. n° 3, 2009, doi: 10.2134/agronj2008.0182s.
- [3] R. Sandhu et S. Irmak, « Assessment of AquaCrop model in simulating maize canopy cover, soil-water, evapotranspiration, yield, and water productivity for different planting dates and densities under irrigated and rainfed conditions », *Agric. Water Manag.*, vol. 224, p. 105753, sept. 2019, doi: 10.1016/j.agwat.2019.105753.
- [4] T. Foster et al., « AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model », *Agric. Water Manag.*, vol. 181, p. 18-22, févr. 2017, doi: 10.1016/j.agwat.2016.11.015.
- [5] A. Ait Houssa et al., « Éléments agro-économiques pour réussir la culture du blé tendre en Bour », *Bull. Transf. Technol. En Agric.*, n° 202, p. 1-8, 2016.
- [6] Food and Agriculture Organization of the United Nations, « AquaCrop », Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consulté le: 4 septembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/aquacrop/en/>
- [7] A. Idrissi, S. Nadem, A. Boudhar, et T. Benabdoulouhab, « Review of wheat yield estimating methods in Morocco », *Afr. J. Land Policy Geospatial Sci.*, vol. 5, n° 4, Art. n° 4, 2022.
- [8] P. Steduto, T. C. Hsiao, D. Raes, et E. Fereres, « AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles », *Agron. J.*, vol. 101, n° 3, Art. n° 3, 2009.
- [9] S. Adla, F. Bruckmaier, L. F. Arias-Rodriguez, S. Tripathi, S. Pande, et M. Disse, « Impact of calibrating a low-cost capacitance-based soil moisture sensor on AquaCrop model performance », *J. Environ. Manage.*, vol. 353, p. 120248, févr. 2024, doi: 10.1016/j.jenvman.2024.120248.
- [10] D. Raes, P. Steduto, T. C. Hsiao, et E. Fereres, « AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description », *Agron. J.*, vol. 101, n° 3, Art. n° 3, 2009, doi: 10.2134/agronj2008.0140s.
- [11] O. Ibn Halima, H. Ilaich, A. Kerfati, R. Moussadek, N. Mazen, et I. Jnad, « Application du modèle FAO-AquaCrop à l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur la productivité du blé dans la zone pluviale de Zaer », *Afr. Mediterr. Agric. J.-Al Awamia*, n° 133, p. 170-187, 2021.
- [12] S. Khabba et al., « A simple light-use-efficiency model to estimate wheat yield in the semi-arid areas », *Agronomy*, vol. 10, n° 10, p. 1524, 2020.
- [13] J. Touni, S. Er-Raki, J. Ezzahar, S. Khabba, L. Jarlan, et A. Chehbouni, « Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management », *Agric. Water Manag.*, vol. 163, p. 219-235, 2016.
- [14] N. Pareek, S. Roy, S. Saha, et A. S. Nain, « Calibration & validation of Aquacrop model for wheat crop in Tarai region of Uttarakhand », *J. Pharmacogn. Phytochem.*, vol. 6, n° 5, p. 1442-1445, 2017.

## Elimination des polluants chimiques par des argiles Algériennes

Benguella Belkacem<sup>1</sup>, Makhboukhi Benamar<sup>2</sup>

1 Laboratoire de Chimie Inorganique et Environnement, Université de Tlemcen

2 Laboratoire de Chimie Inorganique et Environnement, Université de Tlemcen

### Résumé

*L'utilisation intense des colorants et les métaux lourds en industrie et les pesticides dans l'agriculture a engendré un grand problème concernant la pollution des eaux souterraines. C'est dans ce contexte que nous nous sommes proposé de tester des adsorbants compétitifs au charbon actif à base d'argiles disponibles en grande quantité dans notre pays du fait de son exploitation facile et peu coûteuse.*

*Trois argiles de différentes régions de l'Algérie : la bentonite Maghnia, le kaolin de Mila et l'argile de Djabel Debbagh de Ain Berbar dans le cadre d'éliminer trois colorants acides : le Jaune Bezanyl, le Rouge Bezanyl et le Vert Nylomine qui sont souvent rencontrés dans les effluents de l'industrie textile de Tlemcen. Application des différentes bentonites pour l'adsorption des rejets résiduels de l'industrie textile. De même, nous avons essayé d'éliminer trois métaux lourds très utilisés dans l'industrie à savoir le Plomb, Zinc et le Cuivre sur des argiles (Marne et l'argile Djabel Debbagh). Enfin nous avons testé d'éliminer un pesticides couramment employés dans l'agriculture (Méthionate) par les argiles (Bentonite, Kaolin et le feldspate).*

*Les résultats obtenus à l'échelle laboratoire, confirment l'intérêt pratique et économique de l'utilisation des argiles pour la dépollution des eaux contaminées par les colorants, les métaux lourds et les pesticides.*

**Mots clés :** Argiles, Elimination, Colorants, Métaux lourds, Pesticides

### Removal of chemical pollutants by Algerian clays

#### Abstract

*The intense use of dyes and heavy metals in industry and pesticides in agriculture has created a major problem regarding groundwater pollution. It is in this context that we set out to test competitive activated carbon adsorbents based on clays available in large quantities in our country due to their easy and inexpensive operation. Three clays from different regions of Algeria: bentonite from Maghnia, kaolin from Mila and clay from Djabel Debbagh from Ain Berbar as part of eliminating three acid dyes: Bezanyl Yellow, Bezanyl Red and Nylomine Green which are often encountered in the effluents of the textile industry of Tlemcen. The application of different bentonites for the adsorption of residual emissions from the textile industry. Likewise, we tried to eliminate three heavy metals widely used in industry, namely Lead, Zinc and Copper on clays (Marl and Djabel Debbagh clay). Finally we tested to eliminate a pesticide commonly used in agriculture (Methionate) by clays (Bentonite, Kaolin and feldspate). The results obtained during this laboratory-scale study confirm the practical and economic interest of using clays in the field of depolluting water contaminated by dyes, heavy metals and pesticides.*

**Keywords:** Clays, Removal, Dyes, Heavy metals, Pesticides

<sup>1</sup> Corresponding author: [belkacem\\_71@yahoo.fr](mailto:belkacem_71@yahoo.fr)

## INTRODUCTION

Le problème de la pollution de l'environnement reste toujours d'actualité car de nombreuses activités industrielles continuent à générer des polluants divers, notamment certains produits chimiques d'origine industrielle (hydrocarbures, colorants, métaux lourds ...) ou agricole (pesticides, engrais,...) susceptibles de créer des nuisances importantes. Les effluents industriels et les polluants résultant de l'utilisation intensive de fertilisants, de pesticides, de produits sanitaires, agricoles, pharmaceutiques constituent les causes majeures de pollution de l'environnement [1]. Ces polluants possèdent la capacité de se concentrer le long de la chaîne alimentaire et de s'accumuler dans certains organes du corps humain. Il est donc indispensable d'éliminer ces éléments toxiques présents dans les différents effluents industriels ou de réduire leur quantité en dessous des seuils admissibles définis par les normes [2]. Face à des réglementations de plus en plus restrictives, les industries doivent obligatoirement traiter leurs effluents avant de les réintroduire dans le milieu naturel. De leur côté, les chercheurs scientifiques de différents horizons (chimie, géologie, agronomie physiologie végétale, médecine,...) s'intéressent de plus en plus à l'identification et à l'élimination des éléments polluants impliqués directement dans l'apparition de déséquilibres au niveau des écosystèmes ou à l'origine de troubles graves pouvant conduire à la mort, aussi bien chez les animaux que chez l'homme [3]. Pour cela, diverses techniques classiques de purification sont utilisées. Néanmoins, à l'heure actuelle, le développement de technologies propres est de plus en plus souhaité afin de préserver l'environnement. Parmi les nombreuses techniques de dépollution on peut citer: L'adsorption sur des matériaux d'origine naturels comme les argiles [4]. Ce procédé ne nécessite pas beaucoup d'énergie comparés aux procédés électrochimiques, tels que l'oxydation avancée par plasma, électro-photon, photocatalyse, ...etc. L'utilisation du charbon dans le processus d'adsorption est également très sollicitée [5]. Le charbon actif présente une forte capacité d'adsorption due essentiellement à sa grande surface spécifique mais ce procédé reste très coûteux. L'attention a été focalisée par la suite sur l'utilisation d'autres adsorbants à base de matériaux naturels abondants, c'est le cas des argiles [6]. De nos jours, les argiles sont très largement étudiées par de nombreux chercheurs. L'intérêt accordé ces dernières années à l'étude des argiles par de nombreux laboratoires dans le monde se justifie par leur abondance dans la nature, l'importance des surfaces qu'elles développent, la présence des charges électriques sur cette surface et surtout l'échange des cations interfoliaires [7]. Ces derniers sont les principaux éléments responsables de l'hydratation, du gonflement, de la plasticité et ils confèrent à ces argiles des propriétés hydrophiles [8]. Par ce présent travail, nous proposons de tester la capacité de trois argiles algérienne, une bentonite de Maghnia, un kaolin de Mila et une argile de djebel Debbagh de Guelma, localement disponible, dans l'étude de l'élimination des polluants (colorants, métaux lourds et un pesticide) en solutions aqueuses.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

À l'heure actuelle, l'utilisation des argiles comme adsorbant dans les différentes applications de la dépollution des eaux est bien maîtrisée à l'échelle laboratoire. Néanmoins, cette méthode n'est pas encore utilisée à l'échelle industrielle pour l'adsorption des rejets résiduels réels. L'objectif de cette partie est de donner une démonstration de l'efficacité de la méthode dans le domaine du traitement des eaux résiduelles textile de l'unité SOITEX de Tlemcen et à toutes les unités industrielles utilisant des colorants organiques. Dans cette étude, nous tenons en compte les résultats de quelques paramètres indicateurs de la pollution des eaux comme la demande chimique d'oxygène, la turbidité et la conductivité. Pour cela, nous avons pris deux rejets réels différents (constitués du mélange des trois colorants que nous avons utilisé à savoir le Jaune Bezanyl, le Rouge Bezanyl et le Vert Nylomine mais avec des pourcentages différents) dont les caractéristiques sont représentées dans le tableau.

**Table 1 – Paramètres organoleptiques et physico-chimiques des rejets réels.**

Couleur du rejet	pH initial de la solution	D.C.O (mg/L)	Turbidité (NTU)	Conductivité (µS)
Rejet Jaune	5.39	885	7.45	450
Rejet Vert	3.21	765	3.88	490

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### *Cinétiques d'adsorption des rejets colorés par les différentes bentonites*

Pour étudier les cinétiques de traitement de rejet par adsorption sur les différentes bentonites, la procédure suivie consiste à mettre en contact la solution de rejet avec une quantité de bentonite, le protocole opératoire adopté est le même que celui utilisé pour les cinétiques d'adsorption des colorants utilisés précédemment. Pour cela, nous avons suivi la concentration du rejet en fonction du temps jusqu'à ce que l'absorbance soit devenue constante ce qui correspond à la concentration finale du rejet.

Les résultats obtenus concernant l'élimination des rejets étudiés (rejetjauneet rejet vert) sur les différentes bentonites sont représentés sur les tableaux 2 et 3. Ces résultats sont donnés après le temps d'équilibre (temps au-delà du quel l'absorbance est constante).

**Table 2 - Résultats du rejet jaune sur les différentes bentonites.**

Bentonite	D.C.O (mg/L)	Turbidité (NTU)	Conductivité (µS)	% d élimination
Naturelle	76	211	895	81.45
Activée	85	258	912	84.23

**Table 3 - Résultats du rejet vert sur les différentes bentonites.**

Bentonite	D.C.O (mg/L)	Turbidité (NTU)	Conductivité (µS)	% d élimination
Naturelle	78	202	1220	63.73
Activée	51	264	1411	65.26

De même, les résultats obtenus pour les deux rejets étudiés (le rejet de couleur jaune est plus adsorbé que le rejet de couleur verte), vont dans le même sens que ceux obtenus concernant l'affinité des colorants utilisés sur la bentonite. D'après les résultats obtenus concernant les deux rejets réels, nous pouvons dire que cette méthode est aussi efficace avec les eaux résiduaires qu'avec les solutions de colorants préparées au laboratoire à partir de l'eau distillée. Le temps de contact est très court de l'ordre de quelques minutes. L'adsorption sur les argiles n'est pas spécifique seulement pour l'élimination des colorants mais aussi pour les autres paramètres indicateurs d'une pollution, comme on remarque bien sur l'effet sur l'odeur, la D.C.O et la turbidité du rejet. Ce traitement appliqué à l'eau résiduaire textile assure une eau claire. Les teneurs de la D.C.O sont réduites au maximum. Ce procédé peut donner l'avantage d'exempter l'eau colorée du traitement biologique.

### *Cinétiques d'adsorption des métaux lourds sur les argiles étudiées*

La cinétique d'adsorption exprimée comme étant la variation avec le temps de la quantité de cation adsorbée par gramme de support. L'étude expérimentale menée en mode 'batch' a permis de suivre les variations ayant lieu dans la phase liquide en fonction de temps. La capacité maximale d'adsorption est la quantité de polluant retenue à l'équilibre calculée à partir de la concentration du filtrat, obtenue par un dosage utilisant une spectroscopie d'absorption atomique (SAA).

### *Cinétique d'adsorption*

Le temps de contact entre deux phases solide/liquide a un effet important sur le taux de transfert de matière, pour étudié cet effet nous avons réalisé une série des expériences qui permet la détermination du temps de contact mis pour atteindre l'équilibre d'adsorption. La figure 1 représente l'évolution de la quantité adsorbée

en fonction du temps. On remarque que la cinétique d'adsorption du plomb comme exemple sur les argiles étudiées présentent les mêmes allures caractérisées par une forte adsorption du métal sur l'argile dès les premières minutes de contact métal–argile suivie d'une augmentation lente jusqu'à atteindre l'état d'équilibre. A l'état d'équilibre la marne adsorbe plus que l'argile Djabel Debbagh.

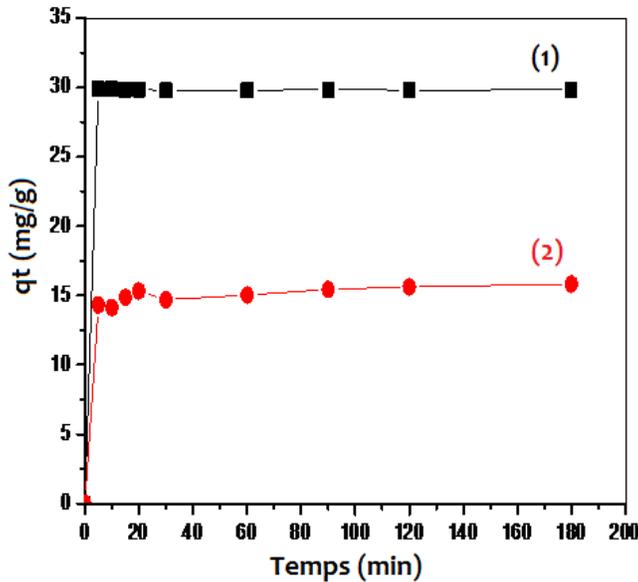


Fig. 1 - Cinétiques d'adsorption des métaux lourds sur les argiles.  
 (1) Argile Merneuse, (2) Argile Djabel debbagh

**Table 4** - Résultats de l'adsorption des métaux lourds sur les argiles à l'équilibre.

Métal	Quantité fixée en équilibre (mg/g) sur la marne	Quantité fixée en équilibre (mg/g) sur l'argile Djabel Debbagh	Temps d'équilibre (min)
Pb (II)	29,72	14,82	180
Cu (II)	29,63	29,63	180
Zn (II)	27,53	27,53	180

### Cinétique d'adsorption de Méthonate par les argiles étudiées

L'étude cinétique de l'adsorption de Méthonate sur les argiles a été réalisée selon le même protocole expérimental que celui effectué dans le cas de l'élimination des ions métalliques.

D'après ces résultats, on remarque que les cinétiques d'adsorption de Méthonate sur les argiles étudiées présentent les mêmes allures dès les premières minutes de contact, suivie d'une augmentation jusqu'à atteindre un état d'équilibre.

Le temps d'équilibre varie entre 30 et 40 min. D'après les résultats obtenus, Le Méthonate s'adsorbe avec des quantités faibles en comparant avec les quantités des métaux lourds sur les supports argileux

**Table 5 - Résultats de l'adsorption de Méthonate par les argiles à l'équilibre.**

Argiles	: fixée de Méthonate en (mg/g) à l'équilibre
Bentonite	5.51
Kaolin	4.00
Feldspoth	3.41

## CONCLUSION

Du point de vue général, ce sujet se situe à l'intersection de trois disciplines : chimie des matériaux (l'utilisation des argiles), génie des procédés (la mise en œuvre d'un procédé d'adsorption) et environnement (traitement des eaux colorées).

Les résultats obtenus lors de cette étude à l'échelle laboratoire, confirment l'intérêt pratique et économique de l'utilisation des argiles dans le domaine de la dépollution des eaux contaminées par les colorants, les métaux lourds et les pesticides.

Enfin, l'utilisation des différentes bentonites pour une application sur des rejets résiduels de colorants textile a montré leurs efficacités et cela d'après les résultats des paramètres indicateurs d'une pollution obtenus considérés très encourageants à l'échelle industrielle.

## Références

- [1] I. Belbachir, B. Makhoukhi, Adsorption of Bezathren dyes onto sodic bentonite from aqueous solutions, J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 75 (2017) 105–111.
- [2] B. Makhoukhi, D. Villemin, M.A. Didi, Synthesis of bisimidazolium–ionic liquids: Characterization, thermal stability and application to bentonite intercalation, J. Taibah Univ. Sci. 10 (2016) 168–180.
- [3] K. Tizaoui, B. Benguella, B. Makhoukhi, Selective adsorption of heavy metals ( $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , and  $\text{Cr}^{3+}$ ) from aqueous solutions onto natural marne clay, Desalin. Water Treat. 142 (2019) 252–259.
- [4] B. Makhoukhi, M. Djab, M.A. Didi, Adsorption of Telon dyes onto bis-imidazolium modified bentonite in aqueous solutions, J. Env. Chem. Eng. 3 (2015) 1384–1392.
- [5] I. Lansari, B. Benguella, N. Kruchinina, A. Nistratov, Adsorption of Textile Dye from Aqueous Solution on Natural and Modified Sawdust. Desalin. Water Treat. 194 (2020) 259–268.
- [6] B. Makhoukhi, D. Villemin, M.A. Didi, Preparation, characterization and thermal stability of bentonite modified with bis-imidazolium salts, Mater. Chem. Phys. 138 (2013) 199–203.
- [7] I. Lansari, B. Benguella, N. Kruchinina, A. Nistratov, The Removal of Acid Green 4G and Anthraquinone Orange from Aqueous Solution Using Adsorption on Activated Carbon from Human Hair, React. Kinet. Mech. Catal. 135 (2022) 987–998.
- [8] B. Makhoukhi, Application of new organoclays for the adsorption of bemaicide dyes from aqueous solutions, Desalin. Water Treat. 113 (2018) 235–243.

## Etude De La Variabilité Des Précipitations Annuelles De Bassin Versant Du Chélif Dans Le Cadre Du Changement Climatique

Mohamed Rata<sup>1</sup>, Abdelkader Sadeuk Bebnabes<sup>1</sup>, Yacine Rata<sup>3</sup>, Hadj Djillali Djillali<sup>1</sup>, Abdelkader Douaoui<sup>2</sup>  
*1*Département d'écologie et environnement. Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana, Laboratoire de la Production Agricole et  
Valorisation Durable des Ressources Naturelles Algérie.

*2*Centre universitaire Morsli Abdallah de Tipaza, laboratoire gestion et valorisation des écosystèmes agricoles et aquatiques.

*3*Laboratoire de l'Observatoire National de l'Environnement et Développement Durable, Algérie.

### Résumé

*Le bassin versant du Chélif possède l'un des régimes pluviométriques les plus divers sur le plan spatial dans le Nord-Ouest de l'Algérie. La compréhension de ces régimes est essentielle pour la gestion des ressources hydriques et la détermination des régions les plus vulnérables au changement climatique ainsi le bassin versant du Chélif comporte plusieurs périmètres où l'irrigation est fréquente, ce bassin offre d'importantes potentialités en eau.*

*Dans ce travail, on a étudié la variabilité interannuelle des séries chronologiques de 30 stations pluviométriques retenue de Bassin versant du Chélif sur la période 1972-2011 (soit 39 ans) dont on a utilisé des approches statistiques de Pettit et Huber avec le logiciel kbronostat. Les résultats obtenus montrent qu'il y a des changements du régime pluviométrique à l'échelle annuelle plus remarqué à la fin des années soixante-dix et quatre-vingt (1978 à 1983), cette période enregistré un déficit de 30.65%. En 2006 la région du bassin versant nord du Chélif connue un changement du régime pluviométrique par l'enregistrement un gain de 20% surtout dans les massifs nord et sud. Par contre, durant les années quatre-vingt dix les massifs nord et sud de notre zone d'étude sont caractérisés par un régime pluviométrique annuel stationnaire et ont enregistré des pluviométries moyennes annuelles fortes.*

*On a conclu que la tendance négative du régime pluviométrique à échelles annuelle est de Nord-est vers le Sud-ouest. Par contre, les plaines de la moyenne et haut Chélif sont plus sensible au changement du régime pluviométrique annuel.*

**Mots clés :** salinité, Sine Saloum, facteurs anthropiques, facteurs climatiques, nappe phréatique

### Study of the Variability of Annual Precipitation in the Chélif Watershed

#### In the Context of Climate Change Abstract

*The Chélif watershed presents one of the most spatially diverse rainfall regimes in northwest Algeria. Understanding these regimes is essential for managing water resources and determining which regions are most vulnerable to climate change. The Chélif watershed includes several areas where irrigation is frequent; this basin offers significant water potential. In this work, we studied the interannual variability of the time series of 30 rainfall stations retained in the Chélif watershed over the period 1972-2011 (i.e. 39 years) for which we used the statistical approaches of Pettit and Huber with the software kbronostat. The results obtained show that there are changes in the rainfall regime on an annual scale, the most marked at the end of the 70s and 80s (1978 to 1983), this period recorded a deficit of 30.65%. In 2006, the region of the northern Chélif watershed experienced a change in the rainfall regime with a gain of 20% recorded, particularly in the northern and southern massifs. On the other hand, during the 1990s, the northern and southern massifs of our study area were characterized by a stationary annual rainfall regime and recorded high average annual rainfall. It was concluded that the negative trend in the rainfall regime on an annual scale is located from the northeast to the southwest. On the other hand, the plains of the middle and upper Chélif are more sensitive to changes in the annual rainfall regime.*

**Keywords:** salinity, Sine Saloum, human factors, climatic factors, groundwater, Senegal

<sup>1</sup> Corresponding author: [m.rata@univ-dbk.m.dz](mailto:m.rata@univ-dbk.m.dz)

## INTRODUCTION

Les changements climatiques observés au cours de ces dernières décennies ont entraîné de nombreux bouleversements à l'échelle de la planète avec des conséquences sur l'environnement et le bien être des hommes. Au vu de la nature de son climat, l'Algérie se trouve parmi les pays les plus touchés par ces changements climatiques dont les indicateurs, tels que la température et la pluviométrie, sont facilement décelables. Selon les experts, à l'horizon 2025 l'Algérie connaîtra une réduction des précipitations de l'ordre de 5 à 13% et une augmentation des températures de 0,6 à 1,1°C (nichane m. et al. 2014). C'est en effet ce qui a été confirmé par de nombreuses études effectuées au cours de ces dernières années, parmi lesquelles certaines ont été réalisées dans le bassin versant du chélif qui constitue la zone de notre investigation (meddi et al ; 2007, amrani ; 2011). L'étude de variabilité annuelle des précipitations est importante pour les projets de développement en agriculture, en aménagement hydraulique, la prévision ou la protection contre les catastrophes écologiques et la préparation des études d'impacts environnementales.

Pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, nous avons appliqués deux tests statistiques (huber et petitt) sur les séries pluviométriques annuelles enregistrées aux stations retenues (30 stations) dans le nord du bassin versant de la plaine du chélif pour la période 1972/2011. L'étude sera menée de détection des ruptures des séries chronologiques de pluies par date de rupture et en même montrés les moyennes avant et après de changement du régime pluviométrique.

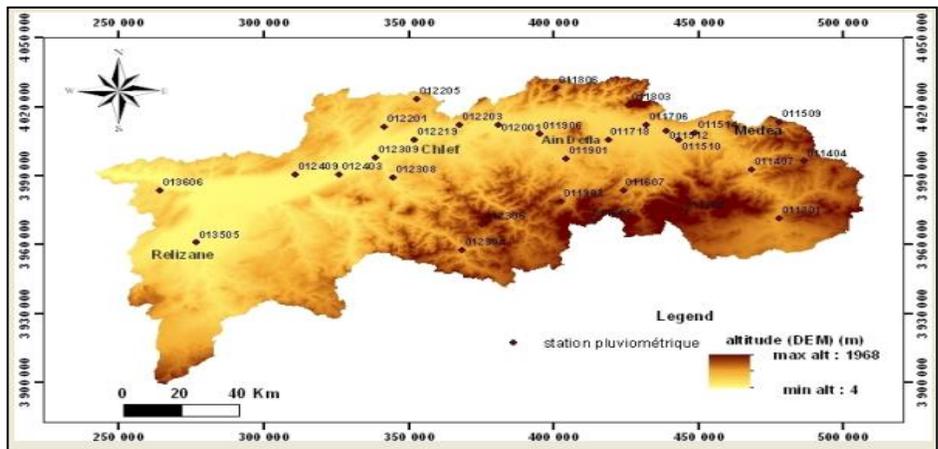
## ZONE D'ETUDE

Le bassin versant du chélif se trouve au nord de l'Algérie dans la région centre ouest. Limité au nord par les crêtes de l'atlas tellien littoral et au sud par l'atlas tellien saharien, il couvre une superficie d'environ 56227 km<sup>2</sup> dont 43800 km<sup>2</sup> se trouvent dans la partie nord du grand bassin versant «chélif-zahrez». Le tout, soit plus de 22% de la superficie de l'Algérie du nord avec comme limite la mer méditerranéenne au nord, la région oranienne - chott - chergui à l'ouest, le désert au sud et l'algérois et chott -hodna à l'est (fig.01).

La superficie qui a fait l'objet de notre étude est estimée à près de 18000 km<sup>2</sup> (fig.01). Elle correspond à une vaste étendue d'orientation est-ouest qui comporte plusieurs périmètres irrigués dont les plus importants sont celui de oued rhou, de ouarizane, de djédouia, h'madna et de guerouaou.

Les coordonnées de ce périmètre, selon la projection transverse-mercator.wgs. 1984. Utm zone 31 nord, sont: X Min= 3 899,000 Et X Max =4 035,000 M. , Ymin = 241,400 Et Ymax =508,000 M

Figure 1-Situation géographique de la zone d'étude



## MATÉRIELS ET MÉTHODES

Cette étude est basée sur les données pluviométriques annuelles sur une période s'étalant de 1972 à 2011, recueillies au niveau de trente postes pluviométriques. Elle est fondée sur une approche statistique, dont l'objectif est d'appréhender les caractéristiques essentielles de la variabilité interannuelle. Il s'agit de détecter les ruptures au cours de cette période, en utilisant des tests statistiques recommandés par l'organisation météorologique mondiale (OMM)

## Collecte des données

Le réseau pluviométrique des bassins versants du nord-ouest d'algérie ont une forte densité. Mais rares sont les stations disposant de longues séries d'observations. Cela limite généralement le nombre de station pluviométriques à utiliser dans une étude. Pour les besoins de l'étude, on doit définir la période la plus longue possible, d'apporter le soin et le traitement nécessaire, afin qu'on puisse disposer de données suffisantes du point de vue qualité que quantité. La collecte de données a été faite à partir de l'anrh (alger) et l'onm.

Les sous bassins du bas-cheliff sont représentés par le tableau des stations pluviométriques suivantes :

Tableau 1-Station Pluviométriques (Source ANRH 1972-2011)

Code	Station	Code	Station	Code	Station
011301	Ksar El Boukhari	011706	Khemis INRA	012205	Benairia
011302	Derrag	011718	Harazza BGE	012304	Souk El Had
011404	Zoubonia	011803	Medjehed	012306	Bordj Bou Naama
011407	Ghrib Amont	011806	El Anneb	012308	Ouled Ben Aek
011509	Medea	011901	El Touaibia	012309	Oued Sly
011510	Domaine Ferroukhi	011903	Toutlael Hassania	012403	Merdja Khpv
011512	Ain Soltane Pep	011906	Rouina Mines	012409	Ouarizane Village
011514	Djenane B-Oaudah	012001	El Abadia	012219	chlef ANRH
011605	Theneit El Had	012201	Ouled Fares	013505	Relizane Demrh
011607	tarik ibn ziad	012203	Ponteba BG	013606	Ouedkheir

## Etude de l'homogénéité des données

Notre étude consiste à définir l'homogénéité des données de la pluviométrie à l'échelle annuelle des séries longues. La critique et le contrôle de la qualité des données pluviométriques sont des traitements qui doivent être effectués pour s'assurer de l'homogénéité et la fiabilité des séries pluviométriques. Pour les besoins de l'étude et pour une bonne répartition spatiale temporaire, nous avons procédé au comblement des lacunes, en utilisant le logiciel Hydrolab (version 98.2) qui est un outil très simple parfaitement intégré au logiciel Excel (2007) dont l'utilisation est universelle

### Procédures d'analyse statistique du régime pluviométrique

Pour tester les changements des régimes des séries chronologiques, on a utilisé le logiciel Khronostat 1.01. Cet objectif peut être atteint en considérant une seule série de données.

Ces méthodes statistiques concernent l'exploitation d'une série de données et une seule. Telles analyses sont qualifiées de ponctuelles ou par site. Les tests choisis permettant de montre les périodes avec les dates de changement de régime pluviométrique annuel (Test de Pettitt et Test d'Hubert).

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Analyse des séries pluviométriques

Les données de précipitations de 30 stations étudiées dans le Nord du bassin versant du Chélif (1972-2011) que nous avons pu rassembler ont été marquées par une grande variabilité interannuelle et des fluctuations remarquables. Ils sont varié selon la moyenne et l'étendue, suivant une tendance négative dans la plaine d'Est vers Ouest.

Le coefficient de variation annuelle est compris entre 20% et 40 % ou les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans les stations Médéa (20.50%) et Benairia (20.56%). En revanche, les valeurs les plus élevées sont observées dans les stations de Ghrib Amont, Bordj Bou Naama et Ouarizane Village où le coefficient de variation est de 40.68%, 35,56% et 34,75% respectivement, alors qu'il varie de 22% et 31% dans les autres stations.

La station Medjehed qui se trouve sur le massif nord enregistre les moyennes 664.81.mm et les valeurs maximales de pluie 994.8 mm les plus hautes par contre, la station Merdja Khpv qui se trouve dans la plaine du bas Chélif (faible altitude) enregistre les moyennes 280.35 mm avec des valeurs minimale 423 mm les plus basses dans notre zone d'étude. Ainsi les stations Tarik Ibn Ziad, Ghrif Amont et Bordj Bou Naama sont enregistrées des valeurs de l'étendue qui dépasse 675 mm .Pour plus de détails se référer au tableau 01 et la figure 02.

Ces résultats confirment la présence d'une tendance négative d'est vers ouest et des moyennes les plus élevés dans les massifs nord et sud dans notre zone d'étude.

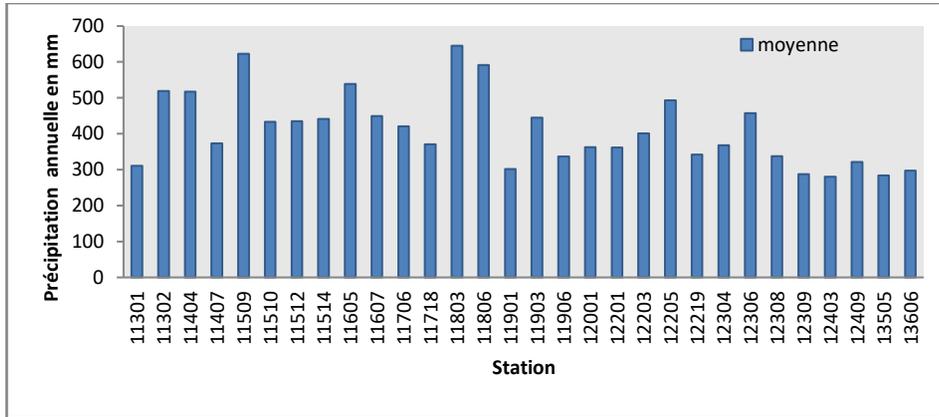


Figure 2-Grphe des précipitations moyennes annuelles

### Détection des années de ruptures et des changements du régime pluviométrique annuel

A l'aide de logiciel Khrnstat 1.01, on a choisi deux teste statistiques (Hubert et pettitti) les plus simples pour détecter la date de rupture et le changement du régime pluviométrique annuel.

Le test statistique d'Hubert permet de déterminer les dates de changement des régimes pluviométriques avec la moyenne et écart-type pour chaque période.

Tableau 2- Les Résultats du test statistique d'Hubert

Station caractérisée par un régime stationnaire	Station caractérisée par une seule rupture	Station caractérisée par deux ruptures	Station ayant enregistré une rupture de différence plus de +50%	Station ayant enregistré une rupture de différence plus de -50%
011301-011302- 011404-011509- 011514-011605- 012001-012205- 012306-013606	011407-011510- 011512-011607- 011706-011803- 011806-011903- 011906-012219- 012304	011718-012201- 012203-012308- 012309-012403- 012409-013505- 011901-	012409-012403- 012309	-
Total= 10 station	Total=11 station	Total=09 station	Total=03 station	Total=00 station

le tableau 2 montre les résultats du test d'Hubert en fonction du nombre des ruptures des changements du régime pluviométrique et le nombre des stations qui dépassent une différence de changement plus ou moins de 50%. Il montre une stationnarité du régime pluviométrique pour 10 stations ; 11 stations sont caractérisées par un deux régimes pluviométriques ; 09 stations ont enregistré trois régimes pluviométriques. Parmi ces changements de régime, le test d'Hubert montre que 03 stations ont enregistré des changements de régime qui dépasse les 50% de la période précédente.

Selon la Figure 3, On a conclud que les stations situées à l'Ouest de la plaine du Chélif possèdent un régime pluviométrique hétérogène, Cette région est caractérisée par un couvert végétal faible et une géomorphologie plate.

Par contre les deux régions qui se trouvent à l'extrémité de la plaine du Chélif, on observe un régime pluviométrique peu homogène, cette stationnarité de la moyenne pluviométrique annuelle (362 à 365 mm/an) est dû aux facteurs topographiques (deux chaines montagneuses, Ouarsenis en Sud et Dhahra en Nord), surfaces d'eaux (Barrage Gargar et Merdja Sidi Abed) plus la présence des cultures agricoles (l'arboriculture), c'est-à-dire il y a des formations spéciales des microclimats dans cette zone

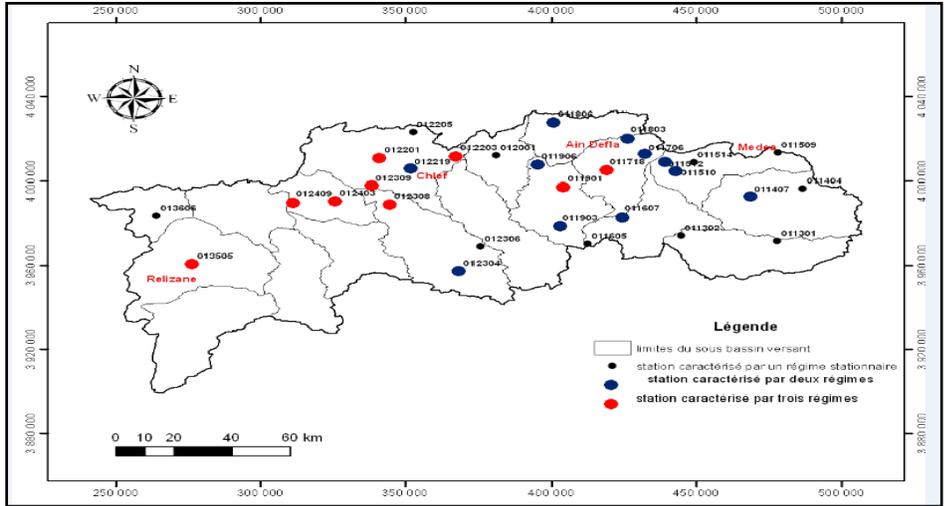


Figure 3- Représentation de la variabilité annuelle du régime pluviométrique dans le Nord du bassin versant du Chélif selon le test d'Hubert

Le test de Pettit a été utilisé sur toutes les stations pluviométriques retenues en vue d'identifier une "rupture" en moyenne dans les séries chronologiques de pluviométrie annuelle étudiées, après que l'absence d'auto corrélation au sein de ces séries ait été vérifiée. "Rupture" doit être compris, ici, comme un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné.

Tableau 3-Présente Résultats de Test Pettit statistique appliqués sur les séries pluviométriques annuels enregistrées aux stations retenues pour la période 1972/2011

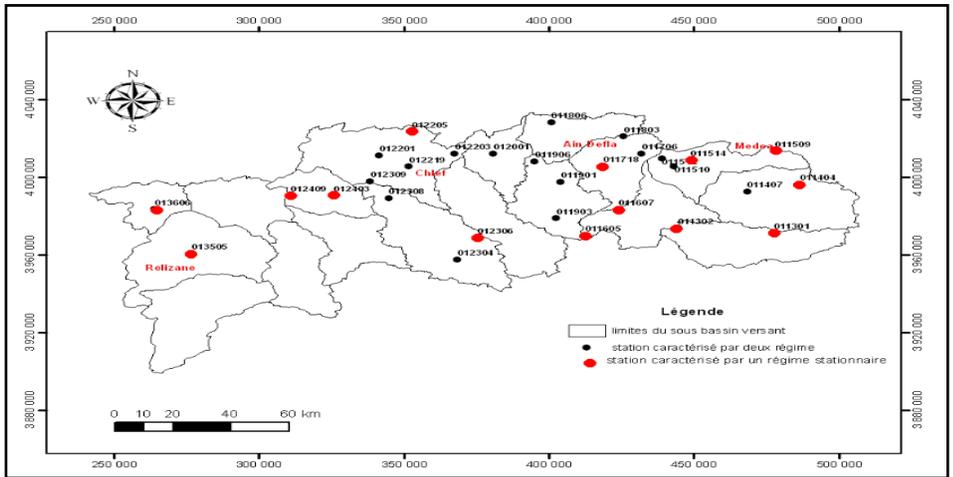
Code	Prob Kn	Années de la rupture la plus significative	Avant rupture (mm)	Après rupture (mm)	déférence pluviométrique (%)
11301					
11302					
11404					
11509					
11514					
11605					
11607					
11718					
12205					
12306					
12403					
12409					
13505					
13606					
11407	0.00281	1993	398,83	574,16	43.96
11510	0.0341	1986	510,25	386,88	-24.17
11512	0.0249	1985	516,47	392,69	-23.96
11706	0.0165	1986	470,87	388,3	-17.53
11803	0.00523	1986	780,59	564,96	-27.62
11806	0.0328	1991	654,03	526,18	-19.54
11901	0.0259	1979	399,37	277,69	-19.55
11903	0.0596	1979	568,78	415,65	-26.92
11906	0.01088	1980	435,33	311,85	-28.03
12001	0.0904	1979	443,08	342,23	-22.03
12201	0.0341	1980	465,81	334,64	-28.15
12203	0.0596	1979	502,91	375,8	-25.27
12219	0.0999	1978	426,24	320,58	-24.78
12304	0.0935	1982	442,92	342,6	-22.64
12308	0.0711	1978	440,24	315,06	-28.43
12309	0.0269	1980	378,08	262,18	-30.65

\*Prob Kn : probabilité de dépassement de la valeur Kn

D'après les résultats obtenus au tableau 3 on a constaté que sur le total des 30 stations, 16 stations présentent des ruptures dans la série chronologique avec un niveau de signification qui varie d'une station à une autre, ainsi la majorité de ces points ont été détectées un déficit entre 17.53% et 30.65%, dont lequel 75 % de ces derniers enregistrée dans les quatre années suivantes : 1979 (représentant 25 % du total des ruptures), 1980(18.75%), 1986 (18.75%) et 1978(12.5 %). Seule la station Ghrib Amont a une rupture positive de 43.96% en 1993. D'autre par les stations restant (14 stations) empreintes un régime régulière stationnaire.

La figure 4 résumé de la variabilité annuelle du régime pluviométrique dans la région étudié par une présentation cartographique selon le teste de Pettitt. Les résultats de tests de petit montrent qu'il y a des changements du régime pluviométrique à l'échelle annuelle plus remarqué dans les extrémités nord de la zone d'étude, et presque stationnaire dans la plaine du bas Chélif et les extrémités sud de la zone d'étude.

Figure 4-Variabilité annuelle du régime pluviométrique selon le test de Pettitt



Les résultats obtenus dans cette étude sont en accord avec plusieurs travaux menés au nord-ouest de l'Algérie, tel que ceux de MEDDI et MEDDI (2007), BEKKOUSSA et al. (2008), et pour le bassin du Cheliff ceux de TAIBI (2011), AMRANI (2011), EI MEDDAHI (2016) et ZEKOUDA, MEDDI(2015), AMIAR(2019), et RATA(2020).

## CONCLUSION

L'analyse statistique des séries chronologiques et les tests statistiques réalisés permettent d'identifier des comportements de la variabilité temporelle pour les stations retenues et contribuent à la compréhension des changements des régimes pluviométriques dans La plaine du nord de Cheliff ; les résultats de recherches conclue somme suite:

Les résultats d'analyse statistique descriptive des séries chronologiques de 30 stations ont confirmé que le Nord du bassin versant du Chélif est caractérisé par des pluies moyennes interannuelles irrégulières et les régions d'Est enregistrent des moyennes pluviométriques les plus élevés par rapport les régions d'Ouest.

Le test de Pettitt a décelé un point de rupture pour la majorité des séries pluviométriques non stationnaires entre les années 1978 et 1993, ainsi 14 stations présentent une régularité du régime pluviométrique. Par contre les 16 stations restantes enregistrent un déficit pluviométrique de 17.53% à 30.65%, avec une Seule station (Ghrib Amont) qui à note une rupture positive de 43.96% en 1993. Les résultats suivis par le retour de remonter à une situation normale à partir 2006/2007.

Le test d'Hubert a montré que la fin des années soixante-dix et la fin des années quatre-vingt ont connu des changements du régime pluviométrique. Il montre une stationnarité du régime pluviométrique pour 10 stations ; 11 stations sont caractérisées par un seul régime pluviométrique ; 09 stations ont enregistré deux régimes pluviométriques. Parmi ces changements de régime 03 stations dépassent les 50% de la période précédente.

A la fin ; On a conclu que les stations qui sont localisées dans les massifs Nord et Sud sont caractérisées par un régime pluviométrique annuel peut homogène, Ces régions sont caractérisées par un couvert végétal plus dense et en même temps la plaine ouest du bas Chélif qui sont caractérisé par une géomorphologie plate enregistré des régimes pluviométrique annuel stationnaire pour les deux tests. Par contre Les stations proches des chaines montagneuses qui sont caractérisées par la présence des cultures agricoles sont caractérisées par deux régimes pluviométriques, surtout dans la région Ouest de la zone d'étude.

Pour une continuation de ce travail, il est recommandé d'augmenter le nombre de station dans le but d'élaborer une carte du régime pluviométrique à différentes échelles. Afin de signaler les zones les plus vulnérables aux changements pluviométriques surtout les zones de vocation agricole pour augmenter le rendement agricole et déclencher le temps de l'irrigation complémentaire.

## REFERENCES

- [1] Amrani R, (2011) ; Variabilité spatio-temporelle de la sécheresse dans le bassin versant de l'Oued Chélif. Mémoire de magister, Univ de Chlèf, Algérie, 51 p.
- [2] Bekkoussa B et al (2008); Forçage climatique et anthropique sur la ressource en eau souterraine d'une région semi-aride : cas de la plaine de Ghriss (Nord-Ouest algérien). Sécheresse, 18, 173-184.
- [3] El Meddahi Y, (2016) ; Les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau, cas du bassin du Cheliff. Thèse de doctorat, Univ. Hassiba Benbouali de Chlef, Algérie, 99 p.
- [4] Hubert P, Carbonnel J et Ali ChaoucheA, (1989) ; Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. Journal of Hydrology. Volume 110, Issues 3–4, Octobre 1989, Pages 349-367.
- [5] Khronostat, (1998) ;Logiciel d'analyse statistique des séries chronologiques. IRD ex : ORSTOM Ed., Paris, <http://www.hydrosociences.org/spip.php?article239>
- [6] Meddi H et al, (2009) ; Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. Science et changements planétaires/Sécheresse vol. 20, n° 1, janvier-février-mars 2009 :p57-65.
- [7] Meddi et al, 2005 ; Etude de la variabilité interannuelle des pluies dans le Nord de l'Algérie institue hydraulique ; université mascara ; Algérie équipements décembre 2003 P33.
- [8] Maima S, (2019) ; Variabilité pluviométrique dans le bassin versant du haut et moyen cheliff, Faculté de Technologie, Université Abou-Bakr Belkaid, Tlemcen, 13000, Algérie, Revue Des Sciences De L'Eau. Volume 32, Numéro 4, 2020, p. 337–347.
- [9] Nichane et al, (2014) ; Changements Climatiques Et Ressources En Eau En Algérie Vulnérabilité, Impact Et Stratégie D'adaptation, Larhyss Journal, Issn 1112-3680, N°21, March 2015, Pp. 15-23
- [10] OMM (Organisation Météorologique Mondiale), (2007) ; Bilan des changements climatiques Rapport de synthèse. 114p.
- [11] Pettitt N, (1979) ; A non-parametric approach to the change-point problem. Appl. Stat., 28, 126-135.
- [12] Rata M, (2020) ; Analyse géostatistique et modélisation de la pluviométrie dans le cadre des changements climatiques : Cas du bassin versant du Chélif,Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
- [13] Taibi S, (2011) ; Analyse du régime climatique au Nord de l'Algérie. Mémoire de magister, École Nationale Supérieure Agronomique, Algérie, 85 p.
- [14] Zekouda N. et Meddi M, (2015) ; Les tendances hydro-pluviométriques du bassin versant de Cheliff (Haut et Moyen Cheliff). Actes du 3eColloque International sur la Géologie du Sahara, 9-10 décembre 2015, Univ. Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 237 p.

## Rainwater and Wastewater Management: A Case Study of Dakar's Built-up area, Senegal

Abdoulaye Faty<sup>1</sup>, Cheikh Diop<sup>1</sup>, Waly Faye<sup>1</sup>

1Département de Géographie – Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (SENEGAL)

### **ABSTRACT**

Urban water management rules have long been oriented towards the rapid disposal of rainwater and wastewater through combined or separate drainage networks. This type of urban water management has shown its limits in both developed and undeveloped countries, notably because of its inexorable degradation over time and the cost of its rehabilitation and adaptation to the increase in demand due to urban growth. Sanitation data from the Office Nationale de l'Assainissement du Sénégal. Rainfall data are processed and analyzed to describe the current situation and how variable and high rainfall affects the neighborhood. Approximately 70-92% of the Dakar region's inhabitants have on-site sanitation facilities and sufficient income makes it difficult to manage their wastewater without exposing the environment or the health of citizens. The volumes of domestic wastewater flowed into the environment, in addition to poorly evacuated rainwater, show that the current sanitation system in the Dakar region is largely outdated, and insufficient for an effective drainage of rainwater and wastewater. Increasingly, frequent flash floods of polluted storm water from large amounts of domestic sewage are occurring, resulting in damage to human health. Exceptionally high rainfall is in correlation with high daily rainfall, therefore in recent years daily rainfall higher than 100 mm have been recorded in connection with above-average annual rainfall. That increase in rainfall disrupts the drainage of wastewater in the region of Dakar. A pragmatic and voluntary policy based on the principles of ecohydrology to recreate natural areas will be the only way for Dakar to efficiently manage storm water and wastewater. It can bring Dakar in 2030 into the international group of sustainable green cities..

**Key words:** Management, rainwater, wastewater, rainfall, urban areas, Dakar

---

<sup>1</sup> Corresponding author: [abdoulaye.faty@ucad.edu.sn](mailto:abdoulaye.faty@ucad.edu.sn)

## INTRODUCTION

Rainwater drainage and wastewater management in cities like Dakar represent a public health challenge. With the population growth and rapid globalization of the late 2000s, urban development is inevitable on the planet. Adaptation to climate change will therefore require the ability to adapt cities to new climatic and economic development conditions (FAO, 2012; Breuste, 2020). Exposure to flooding increased by 20-24% during 2000-2015 (Tellman et al., 2021; Carette et al., 2022). Changes in flood risk observed in recent decades are due to human factors such as urbanization and population growth rather than climate change alone (Tramblay et al., 2019; Caretta et al., 2022). Flooding intensifies the mixing of stormwater with wastewater and the redistribution of pollutants (Andrade et al., 2018; Caretta et al., 2022). In addition, contaminated floodwater poses an immediate health risk through water-related diseases (Huang et al., 2016; Andrade et al., 2018; Paterson et al., 2018; Setty et al., 2018; Caretta et al., 2022). Furthermore, floodwater contamination decreases aesthetic value compromising recreational activities, tourism attractiveness, property values, and drinking water management and treatment (Eves & Wilkinson, 2014; Caretta et al., 2022). Water, Sanitation and Health, WaSH, form a close dependency. Variations in temperature, rainfall, and extreme events cause an increase in the incidence of water-related diseases and neglected tropical diseases (Caretta et al., 2022). In Senegal, the rainy season corresponds to an 84% increase in the risk of diarrhea in children (Caretta et al., 2022). High levels of fecal contamination of drinking water and hands have been associated with an increase in childhood diarrhea (Caretta et al., 2022). Overflowing sewage leads to a 13% increase in the risk of gastrointestinal illness from source water contamination (Caretta et al., 2022).

Despite the magnitude of the impacts caused by sanitation deficiencies, more attention has been directed to the provision of potable water than to increasing the capacity of sewage and stormwater systems to accommodate heavier rainfall (Caretta et al., 2022). Urbanization must respond to both local and global challenges, respecting the three components Economy/Society/Environment. To this end, the concept of "green city" has emerged in recent years to meet the expectations of the SDGs. However, there is not yet a well-defined model. Historically, the notion of "sustainable city" replaced the notion of "ecological city" at the time of the Rio Conference in the 1990s. Environmental concerns were then linked to urban planning projects and economic, social and cultural constraints (Vernay et al., 2010; Kulinska and Dendera-Gruszka, 2019): the main interest was then the search for the well-being of city populations (Theys and Emelianoff, 2001). Thus, green cities refer to the development of communities that do not exceed the ecosystem's carrying capacity under the term "urban footprint" (Rees and Wackernagel, 1996; Luck et al., 2001; Jepson and Edwards, 2005). It promotes a holistic approach integrating social, economic, ecological and engineering sciences. It is within this framework that the notion of a sustainable green city can be linked to that of integrated urban water resources management. The notion of "green city" thus implies water supply facilities, garbage and wastewater disposal and treatment, regeneration of green spaces and water points, transportation regulation, energy consumption, etc. (Scott et al., 2019). But the notion of a sustainable "green city" now goes beyond simple land use planning. It aims to develop a resilient and sustainable urban environment, where the circular economy would reduce environmental impacts by emphasizing green spaces and balance with nature (Breuste, 2020; Sharifi et al., 2020). It engages with local land use policies, in continuous interaction with citizens and decision makers, for the support of economically and environmentally viable, socially accepted and time-efficient solutions.

Even if taking the environment into account is increasingly common in urban development, changing urban development as it has been practiced for decades means changing the paradigm, which is a difficult, complex and innovative process, especially in African cities. The situation in Dakar (Senegal) is worth considering. The unregulated settlement of new urban dwellers often takes place in risky areas (low-lying areas, flood zones, swamps, shores, etc.) where the lack of RainWater Management (RWM) can have serious consequences for infrastructure and public health, due to poorly drained stagnant water. This is all the more serious as the water quickly mixes with the overflow of sewerage, where drainage infrastructure is poorly maintained or non-existent. The water is then polluted and the residents affected by the floods require health care. The stagnation of water causes people to be in constant contact with unsafe water, debris, and live in poor hygiene conditions (PROGEP, 2012). This leads to skin diseases, respiratory infections or diarrheal diseases, which are highly prevalent in the region of Dakar of (Norman et al., 2011; WHO, 2019). Due to inefficient sanitation systems, the water table is polluted with high levels of nitrates and coliforms from contamination by black water (Gaye,

2011). For example, the lack of sanitation systems in the outskirts of Dakar has led to an increase in nitrate levels that are now very high (between 160 and 350 mg/l), well above the WHO drinking water standard of 50 mg/l (PROGEP, 2012; Coly et al., 2020).

StormWater management (SWM) is becoming a crucial issue for sustainable development in new urban areas as is often the case in African cities. Similarly, the growing interest in sanitation focuses mainly on wastewater management, and takes too little account of SWM, which remains a less important topic often considered only at the time of disastrous one-off events causing uncontrollable and destructive floods (Leclercq, 2017). This is why, as an innovative approach in the management of development and urban environment, ecohydrology brings new tools for city actors to build a "sustainable green city" (SGC) as a performing, responsible and ecological city. It is within this framework that this paper considers the sustainability of Dakar in terms consequences of stormwater drainage on wastewater management. The choice of the Dakar region as a study site is justified by the availability of numerous national policy documents for an ecological model of SGC in West Africa, notably through the implementation of the Senegalese Emerging Plan (Plan Sénégal Emergent (PSE), phase 1: 2014-2018; phase 2: 2019-2023), which spearheads Senegal's national land use planning policy.

## Study area

With an area of 547 km<sup>2</sup>, the Dakar Region is home to 4,146,593 inhabitants in 2023 (ANSD, 2016), or 23% of the Senegalese population. The Dakar Region is divided into five departments, namely Dakar, Pikine, Guédiawaye, Keur Massar, and Rufisque, with its communes where density is unevenly distributed (Fig. 1). The high urbanization of the Dakar Region is essentially linked to a high concentration of factories and administrations, in addition to a high rate of rural exodus. The acceleration of urban growth has not been accompanied by significant infrastructure programs. The access to basic services remains low, at 33 percent (ANSD, 2017). Natural resources, as well as the human environment and the few "still" green spaces, are the targets of repeated pollution and nuisances of ever increasing scale.

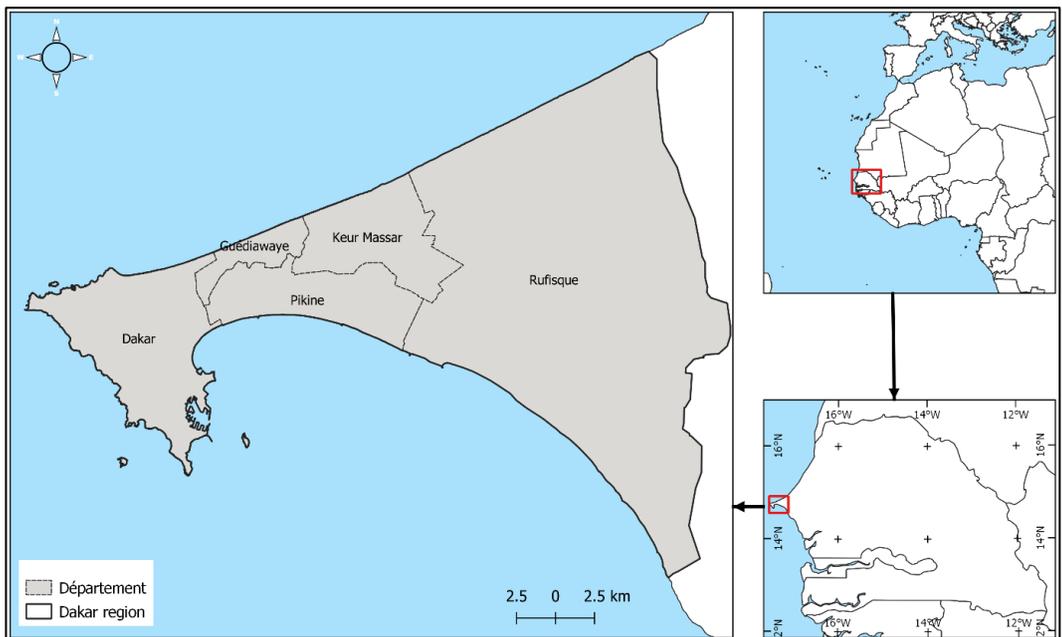


Figure 1: Study area

## Methods

For the five departments of the Dakar Region, the calculation of domestic wastewater flows was based on data published by ONAS (Office National de l'Assainissement du Sénégal) and ANSD (2021). The state of the sewerage system was assessed on the basis of a bibliographical study and field work. Station rainfall data were collected at the National Weather Service (ANACIM: Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie). The annual rainfall data and the maximum daily rainfall data of the series 1951-2020 are used in this study. The 2022 rainfall has been compared that series. They were recorded at the Dakar-Yoff station, the synoptic station of Dakar region. It is located in the airport at Yoff and offers the longest, and the most complete time-series.

## Hydrographic network

To this end, we propose to use hydrological-based mapping to describe the hydrographic network of intense runoff production zones, transfer and erosion zones related to flow velocities, and accumulation zones (A) of water and materials. Part of the work was the subject of field evaluation for georeferencing.

We identified the wastewater and rainwater treatment plants. There are four of them: Cambérène, SHS, Niayes and Rufisque. By using descriptive statistics, we estimated the number of people benefiting from the wastewater drainage system.

## Rainfall evolution

To better understand rainfall dynamics in the Dakar region (Dakar, Pikine, Guédiawaye, Keur Massar and Rufisque), we used the Standardized Precipitation Index (SPI). The SPI is an index for assessing the state of drought or above-average rainfall. To calculate the SPI, records spanning at least 20-30 years are ideal, but 50-60 years or more is the optimal time period (Guttman, 1994). The Index has been used by many authors in the analysis of rainfall variations (Sailer et al., 2002; Ali & Lebel, 2009; Naresh Kumar et al., 2009; Du et al., 2012; WMO, 2016; Mupepi & Matsa, 2023; Zang et al., 2023).

The Standardized Precipitation Index (SPI) developed by McKee et al. (1993) has the following formula:

$$SPI = (X_i - X_m) / S_i$$

where  $X_i$  is the cumulative rainfall for a year  $i$ ;  $X_m$  and  $S_i$ , are the mean and standard deviation, respectively, of the observed annual rainfall for a given series.

The break in the annual rainfall series from 1951 to 2020 was determined with the Pettitt test (Pettitt, 1979). It was computed in the "R language and environment for statistical computing" (R Core Team, 2022). The test was executed with the package "trend", which provides functions of non-parametric tests (Pohlert, 2020).

We compared the highest daily rainfall of each year with the annual rainfall. The comparison showed the evolution of the daily maximums in relation to the average maximum and the annual rainfall of the 1950-2020 series. The analysis of daily extremes is necessary to understand the behavior of extremes in a context of increasing rainfall in the 2000s.

Neighborhoods in the departments of Dakar, Pikine, Guédiawaye and Keur Massar were visited from 2019 to 2022 to observe the impact of rainfall on the living environment. These observations have shown the consequences of wastewater that is difficult to evacuate during the rainy season.

## • Findings

The results of the study revolve around the sewerage system, the hydrographic network and the evolution of precipitation.

### .1. Drainage system in the region of Dakar

Sanitation in the Dakar Region is mostly an individual solution (or also known as self-sanitation). According to Gning et al (2017), 70% of the population resort to individual wastewater management systems instead of a connection to a drainage system. The majority of the population evacuates its wastewater in septic tanks, but most often in cesspools that ensure the mineralization of organic matter before infiltration into the soil. However, proven nitrate pollution of the ground water tends to show that pollution occurs close to the water table through wastewater infiltration (Sall and Vanclooster, 2009; Ba et al., 2016). These pits require regular emptying. More than 5,000 m<sup>3</sup>/d of sludge is produced daily (Gning et al., 2017). In 2010, the mechanical emptying market in the Dakar Region was estimated at USD 4 million (Chowdhry and Koné, 2012, in Gning et al., 2017), which was shared out among 208 sewage suction trucks. But for the past decade, economic growth and imports of bathroom accessories and tiles have greatly improved private sanitary conditions (Marfaing, 2019). This author believes that "the sanitation policy of Dakar really started" in 2013. Since then, many projects managed by the national agency in charge of sanitation (ONAS : Office National de l'Assainissement du Sénégal) have attempted to improve the sludge treatment sector, notably the Pilot Program for the Structuring of the Market for Fecal Sludge (PSMBV, 2011) and the National Program for the Sustainable Development of Autonomous Sanitation (PNDDAA, 2018). But despite this, Gning et al. (2017) emphasize that the method of emptying tanks remains highly correlated with household income: 70% of the richest households practice mechanical emptying while 54% of the poorest households use manual emptying, with the rest practicing "wild" emptying, that is to say getting rid of wastewater without any previous treatment.

Sanitary sewers in Dakar would therefore concern only 30% of the population, according to figures from Gning et al. (2017). The drainage system is of the separate type : wastewater and rainwater are not carried off by the same sewers. Wastewater is therefore collected and sent to a treatment plant for treatment before being discharged into the natural environment (ONAS, 2017). The Dakar region has four wastewater treatment plants (WWTPs) in operation, namely the WWTP of Cambérène for the Department of Dakar, the WWTP at Niayes for Pikine, the WWTP at Cité-de-la-Société-à-Habitat-Social (SHS) for Guédiawaye, and the WWTP at Rufisque for the Commune of Rufisque. Table I shows their nominal capacity (table I).

**Table I:** Rainwater plant capacity in the départements of the Dakar region (Source: ONAS, 2018) and estimates of the percentage of people actually connected to the drainage system

Départements	Name of the sewage plant	Capacity (m <sup>3</sup> /day)	Population (number)	Area (km <sup>2</sup> )	Density (inhabitants/km <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup> /day per resident for 30% connected	Estimation of citizens serviced by a sewage plant (%)	Estimates of citizens serviced by a sewage plant
Dakar	Cambérène	19,200	1,216,737	77.12	15,777	0.053	16	194677.92
Guédiawaye	SHS	595	349,991	12.8	27,343	0.006	2	6999.82
Pikine	Niayes	875	1,243,004	95	13,084	0.002	1	12430.04
Rufisque	Rufisque	2,856	419,209	17.6	23,819	0.023	7	29344.63
Total or average		23,526	3,228,941	202.52	20,006	0.0020	8	243452.41

In 2018, the département of Keur Massar was part of the département of Pikine

With an average connection rate of 8% of the population and if the wastewater treatment plants were operating at their nominal capacity, the volume of water treated per capita would be low to very low depending on the department. This volume varies from 2 L/inhabitant in Pikine to 53 L/inhabitant in the département of Dakar. In addition, considering an average volume to be treated per day of 100 L/inhabitant, we estimate the percentage of population actually connected. This percentage varies from 1% in Pikine to 16% in Dakar. These figures represent a total of 92% of unconnected inhabitants in the Dakar Region.

The current sanitation situation in the Dakar Region is still very critical. The demographic growth associated with a major country-to-city migration has largely exceeded the sewage drainage infrastructure, despite major support from international institutions. Therefore, the Dakar Region continues to be an entirely and dangerously saturated area for more than two decades. The consequences of rainwater are largely influenced by the inadequacy of the sewage drainage infrastructure. In fact, rainfall variability, along with changes in groundwater, is a major threat in the environment of the urban area of Dakar.

### Rainfall evolution and hydrological situation in the region of Dakar

The trend since the 1950s shows that there has been a decrease in rainfall corresponding to the droughts of the 1970s and 1980s (figure 2). These dry phases occurred in Dakar until the 2010s. Indeed, it is only in the 2010s that an ascending phase is observed. Lately, the 2022 rainfall was exceptionally high with 800.6 mm recorded. Since 1967, such a quantity has not been observed in Dakar. That was the equivalent of a 50-year return period that was recorded in Dakar in 2022.

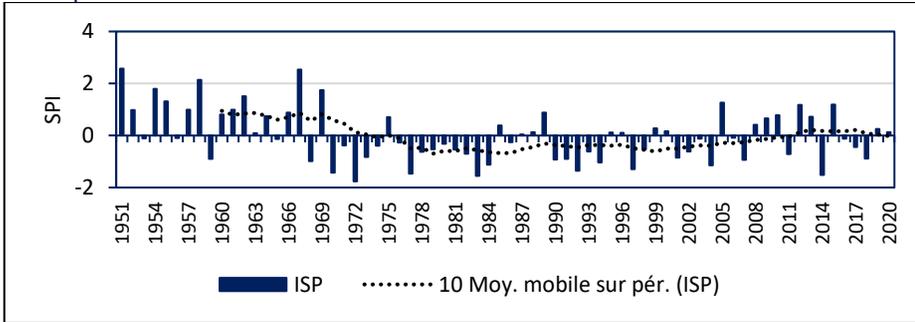


Figure 2: SPI from 1951 to 2020 in Dakar-Yoff

The 2022 rainfall is the first time that cumulative rainfall has exceeded the 1950-1970 average (the wettest decades from 1950 to the present) by 37%. Despite this increase, the last decade remains below the average of the pre-drought years. The 10-year moving average curve of the IPS is positive, but barely above zero. Thus, the break in the series remains in the 1960s. The Pettitt test gives 1969 as the year of the rainfall break (figure 3).

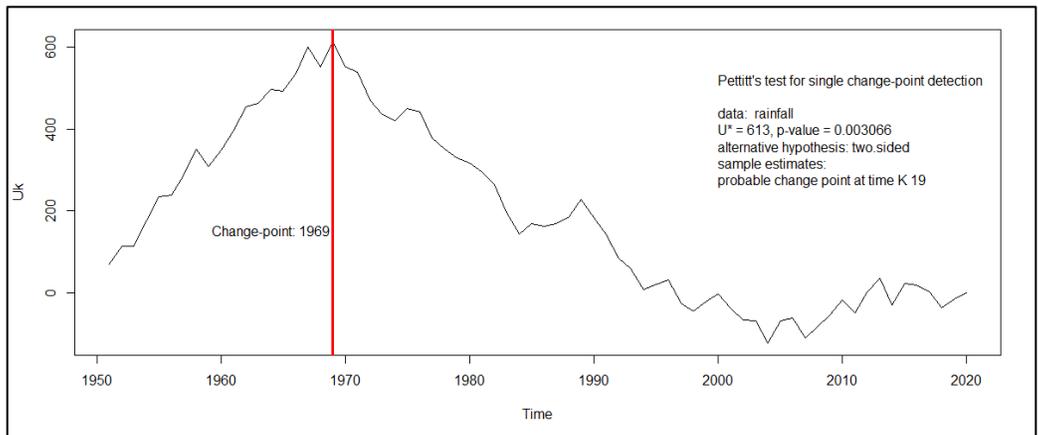
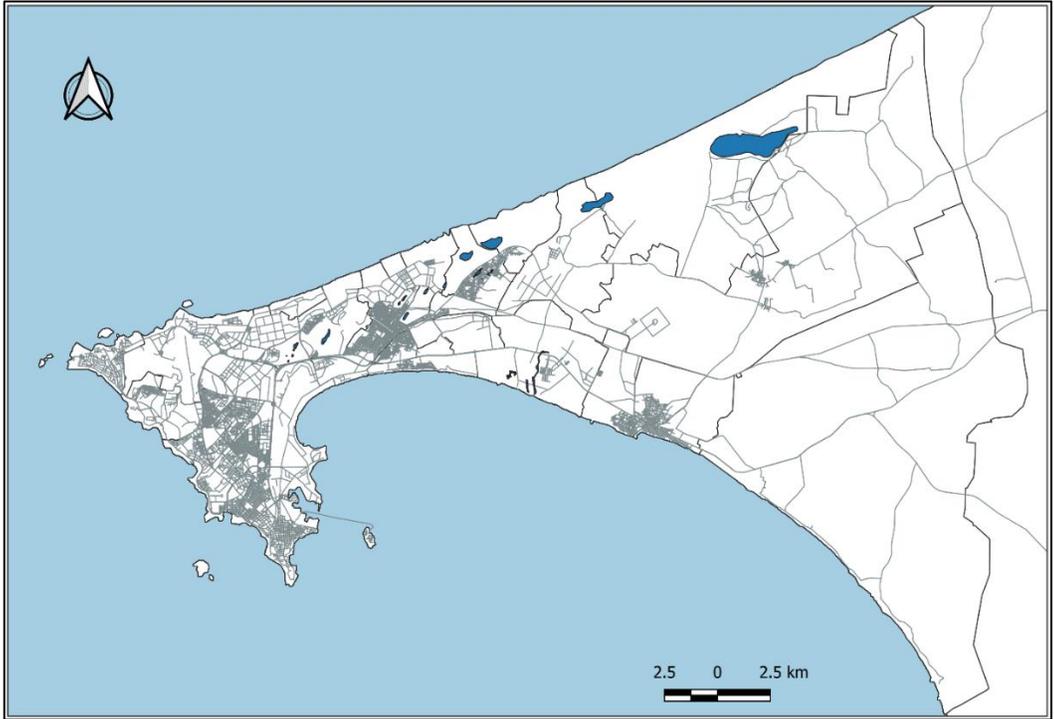


Figure 3: Detection of a change-point with Pettitt's test at Dakar-Yoff station from 1951 to 2020

The increase in precipitation in the 2010s has been insufficient to create a real break in the precipitation trend. Despite significant annual rainfall recorded in 2005, 2012, 2015 and 2022, below-average amounts have also been observed recently, such as in 2004, 2007, 2011, 2014 and 2018.

The Dakar region is dotted with water bodies from the northeast, with Lake Retba, to the Park located in Hann (Figure 4). Reflecting the topography, these low-lying areas are vulnerable to flooding. In addition, they are the final destination of runoff water that feeds the many temporary watercourses of Dakar.

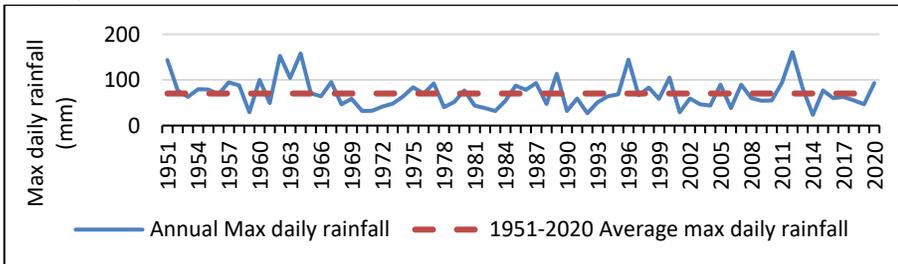


**Figure 4: Water bodies in the Dakar Region**

Land use shows that the communes located along the water bodies are physically vulnerable due to topography and hydrography. Thus, the center of the region (departments of Keur Massar, Guédiawaye and Pikine) is exposed to temporary runoff.

### 3. Extreme rainfall and sanitation

The daily maximums are as variable as the annual rainfall (figure 5). They were higher in the period before the 1969 change-point. Indeed, they exceeded 150 mm twice (1962 and 1964). They were lower during the dry decades of the 1970s and 1980s. The highest maximum was only 114 mm (1989) during the below-average period. Most years during this dry period had below-average daily maximums (71 mm). The recovery of rainfall in the 1990s and 2000s resulted in higher daily maximums. For example, 144 mm was recorded in 1996 and 161 mm in 2012. The 2012 maximum was the highest, never observed since recording started at Dakar-Yoff in 1947.



**Figure 5: Maximums daily rainfall at Dakar-Yoff from 1951 à 2020**

The recovery in precipitation corresponds to a high frequency of rainfall extremes. The correlation coefficient between the annual rainfall and the daily maximum is positive (0.6). Those extreme rains cause flooding and disrupt wastewater disposal. In fact, during the rainy season, malfunctions are noted in the wastewater drainage system. Such disruptions negatively affect the neighborhood because of the wastewater that mixes with the rainwater (illustration 1).



**Illustration 1 : Stagnant water in Dakar during the rainy season (C. Diop, a : juillet 2020, b, c, d : septembre 2019)**

In several neighborhoods of Dakar, both the communal drainage system, with the pipes and channels managed by the Office National de l'Assainissement du Sénégal, and the individual tanks are exposed to the influx of rainwater. Also, it is not uncommon to see stagnation of rainwater and wastewater.

Failures in the sewage disposal system pose a threat to the groundwater, the aesthetics and the health of city dwellers in the suburbs of Dakar. Rainwater, because of its intensity with extremes and successive days of rain, is another threat. During the rainy season, the impact of human interventions modifies the urban hydrology. Thus, extreme rains indirectly pose a sanitation and hygiene problem (through runoff and flooding).

## • Discussion

The current increase in rainfall in the Dakar region happens when ground water is not pumped anymore due to their pollution by domestic wastewater, as confirmed in the study by Ndiaye et al. (2016). It poses not only a recurrent annual risk of flooding (VVB, 2009), but also public health risks through the development of diseases related to wastewater. Indeed, rainfall has increased by 41% compared to the 1970-2004 series. This increase in rainfall in the peninsula of Dakar has led to systematic flooding at many places in the city and its outskirts, simply because it is impossible for the rainwater to infiltrate the soil, which is soaked in dirty water. The wastewater from the 70% to 92% of the population that is not connected to the communal drainage network

(table 1) and an estimated loss of 50% into the environment represent an annual volume of wastewater of the order of 50 to 25 million m<sup>3</sup>/year directly flowed into the soil. The contamination of the ground water, due to the inefficiency of individual sanitation solutions, has been highlighted in the suburbs of Dakar. Collin and Salem (1989) found nitrate concentrations of 497 mg/l in the water that feeds the groundwater table in Pikine. Bassel (1996) found high nitrate levels in relation to wastewater. He spoke of chemical leaching of wastewater by rainwater. Using modelling for the suburbs of Dakar, Abidjan and Abomey-Calavi Templeton et al. (2015) showed that it would take 50 years for the nitrate concentration in the groundwater to exceed the World Health Organization limit value for drinking water (50 mg/l). Our analysis of precipitation shows that 1969 remains the most significant break despite the recovery of precipitation in the 1990s and 2000s. The 1960s break remains the most significant from the beginning of observations until 2018 (Sagna, 1995; Dacosta et al., 2002; Faye, 2019; Ndiaye et al., 2020). Thus, as early as the 1990s, environmental problems related to rainwater and sanitation have been observed (Bassel, 1996). Heavy rainfall, however, dilutes water and reduces pollutant concentrations (Bassel, 1996).

Extreme rainfall was recorded mostly in the above-average periods. Descroix et al. (2013) found high daily amounts, above 40 mm, associated with the increase in annual rainfall in the 2000s in the Sahel. This greater frequency of daily rainfall was observed in Senegal (Diop et al., 2014; Diop and Sagna, 2019).

The losses constitute a valuable resource because they are water rich in organic matter that can be used for plant production, under certain conditions to be respected (Gaye, 2011). The idea of reusing them to produce plant biomass in peri-urban and urban areas is an integral part of the Smart Clean Garden concept (Orange et al., 2018) mobilizing the principles of ecohydrology.

## • Conclusion

The link between storm water management, wastewater management, urban planning in the city of Dakar and land management is obvious. But it is still relatively little or not taken into consideration. The challenge is to take charge of the development of urban areas, taking into account both storm water and wastewater. The latter concentrates organic contents of interest for soil fertility, but also pathogenic elements dangerous for human health. Extreme rains, as in 1996, 2000 and 2012 in Dakar with daily rainfall of more than 100 mm, favor flooding, but also stagnation of wastewater, as heavy rains disrupt the functioning of the drainage system and cause septic tanks to overflow. The low rate of the population connected to the sewage system (8%) makes it difficult to treat the wastewater before it is flowed into the environment. The 92% of the population using septic tanks represent a threat to a proper management of the environment of city.

Given the multiple issues at stake for health, the environment and the urban economy, it is urgent that planning policies integrate urban and peri-urban territories into a whole. Policies must consider at the same time residential areas, market gardening and green spaces, in order to build a "sponge city" capable of absorbing rainwater and wastewater, destroying their pathogenic components and mobilizing organic matters useful for green production (green spaces and market gardening).

## Bibliography

1. Ali A. & Label Th., 2008, The Sahelian Standardized rainfall index revisited, *Int. J. Climatol.*, DOI: 10.1002/joc.1832
2. Andrade, L., O'Dwyer J., O'Neill E. & P. Hynds, 2018. Surface water flooding, groundwater contamination, and enteric disease in developed countries: a scoping review of connections and consequences. *Environ. Pollut.*, 236, 540–549, doi:10.1016/j.envpol.2018.01.104
3. ANSD (Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie), 2016. Rapport projection de la population du Sénégal (2013-2063), ANSD, février 2016, 167 p.
4. Ba A, Cantoreggi N, Simos J, Duchemin E, 2016. Impacts sur la santé des pratiques des agriculteurs urbains à Dakar (Sénégal). *VertigO*, 16(1), <https://doi.org/10.4000/vertigo.17030>
5. Bassel M., 1996. Eaux et environnement à Dakar - Pluies, ruissellement, pollution et évacuation des eaux. Contribution à l'étude des problèmes d'environnement liés aux eaux dans la région de Dakar. Thèse de doctorat de 3<sup>e</sup> cycle, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 244 p.

6. BM, 2009. Rapport d'évaluation des besoins post catastrophes inondations urbaines à Dakar. Rapport Banque Mondiale, <http://documents.worldbank.org/curated/en/844871468103494562/pdf/713340ESW0FRENO0PU> BLIC00 from0daniel.pdf
7. Boyer JF, 2002. KhronoStat - Statistical time series analysis software. Maison des Sciences de l'Eau, Institut de Recherche pour le Développement, Montpellier.
8. Breuste J, 2020. The Green City: General Concept. In: Breuste J., Artmann M., Ioja C., Qureshi S. (eds) Making Green Cities. *Cities and Nature* Springer, 527p. doi 10.1007/978-3-030-37716-8
9. Coly P., Samb N-M., Gaye N., 2020. Le PROGEP : une solution durable dans la gestion des inondations en milieu urbain. Rapport Conclusion, ADM, Dakar, Sénégal. 3 p.
10. Caretta, M.A., A. Mukherji, M. Arfanuzzaman, R.A. Betts, A. Gelfan, Y. Hirabayashi, T.K. Lissner, J. Liu, E. Lopez Gunn, R. Morgan, S. Mwanga, and S. Supratid, 2022. Water. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Portner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551–712, doi:10.1017/9781009325844.006.
11. Collin J.J. et Salem G., 1989. Pollution des eaux souterraines par les nitrates dans les banlieues non assainies des pays en développement : le cas de Pikine (Sénégal), Texte de la communication proposée pour le Symposium international sur des solutions intégrées pour des problèmes de pollution de l'eau (SISSIPA) – Lisbonne, 19-23 juin 1989, 12 p.
12. Dacosta H., Konaté Y.K. et Malou R., 2002. La variabilité spatio-temporelle des précipitations au Sénégal depuis un siècle. In *Regional hydrology: bringing the gap between reseach and pratique* (FRIEND conference, Le Cap, South Africa), IAHS Publication n° 274, pp. 499–506.
13. Dasylya S, 2009. Inondations à Dakar et au Sahel, Gestion durable des eaux de pluie. *Etudes et Recherches*, n° 267-268-269, ENDA Editions, Dakar, 259p.
14. Dasylya S, Orange D, Sambou S, Kane A, 2002. Integrated management of rain water in the Area of Dakar: estimation of the increase the rate of infiltration of the rainwater in the current pluviometric context. *EnviroWater2002, Ouagadougou (BF)*, ref: 054, 11 p. <https://www.researchgate.net/publication/242258565>
15. Descroix L., Diongue Niang A., Dacosta H., Panthou G., Quantin G. et Diedhiou A., 2013. Evolution des pluies de cumul élevé et recrudescence des crues depuis 1951 dans le bassin du Niger-Moyen (Sahel), *Climatologie*, Vol. 10, pp. 37-49.
16. Diop C., Sagna P. et Sambou P. C., 2014. Vulnérabilité des populations urbaines face aux fortes pluies : L'exemple du Sénégal en 2012, Actes du XXVII<sup>e</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Climat : Système et interactions, 2-5 juillet 2014, Dijon (France), pp. 554-559.
17. Diop C. et Sagna P., 2019. Évolution des précipitations journalières à cumul élevé de 1971 à 2018 au Sénégal, Géovision, hors série n°1, Actes du colloque international de géographie « Dynamique des milieux anthropisés et gouvernance spatiale en Afrique subsaharienne depuis les indépendances », 11-13 juin 2019, Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire, Tome 2, pp. 536-558.
18. Diop S.M., 2012. *Analyse des impacts des activités anthropiques sur les ressources naturelles de la Grande Niaye de Pikine*, Mémoire Master 1 ès Lettres et Sciences Humaines, UGB, Saint-Louis, Sénégal, 82 p.
19. Du J., Fang J., Xu W. & Shi P., 2013. Analysis of dry/wet conditions using the standardized precipitation index and its potential usefulness for drought/flood monitoring in Hunan Province, China. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 27, 377–387, Accessed 14 February 2023, <https://doi.org/10.1007/s00477-012-0589-6>
20. Eves, C. & S. Wilkinson, 2014. Assessing the immediate and short-term impact of flooding on residential property participant behaviour. *Nat. Hazards*, 71(3), 1519–1536, doi : 10.1007/s11069-013-0961-y.
21. FAO, 2012. Growing greener cities in Africa. First status report on urban and peri-urban horticulture in Africa. FAO, Rome, 116 p. ISBN 978-92-5-107286-8
22. FAYE C., 2019. Changements climatiques observés sur le littoral sénégalais (région de Dakar) depuis 1960 : étude de la variabilité des tendances sur les températures et la pluviométrie, in *Nature & Technology Journal*, vol. C, Environmental Sciences, n° 20, pp. 65-78.
23. Faure H, Gac JY, 1981. Will the Sahelian drought end in 1985 ? *Nature*, 291, 475-478.
24. Faye SC, Diongue ML, Pouye A, Gaye CB, Travi Y, Wohnlich S, Faye S, Taylor RG, 2019. Tracing natural groundwater recharge to the Thiaryoie aquifer of Dakar, Senegal. *Hydrogeology J*, 27, 1067-1080.
25. Gaye M. 2011. Guide pratique pour la mise en place de systèmes sociaux alternatifs d'assainissement condominium en milieu urbain et périurbain. Rapport Technique, ENDA-Rup, Dakar, 177p, ISBN 92 9130 081 0
26. Gning J.B., Diop C., Dongo K., Koné D., 2017. Facteurs déterminants le tarif de la vidange mécanique des matières de boues d'assainissement à Dakar. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(1), 313-332.
27. Huang L.-Y., Wang Y.-C., Wu C.-C., Chen Y.-C., Huang Y.-L., 2016. Risk of Flood-Related Diseases of Eyes, Skin and Gastrointestinal Tract in Taiwan: A Retrospective Cohort Study. *PLoS ONE*, 11(5): e0155166. doi:10.1371/journal.pone.0155166

28. Jepson E.J., Edwards M.M., 2005. How possible is sustainable urban development? An analysis of planer's perceptions about new urbanism, smart growth and the ecological city. *Plann. Practices & Research*, 25(4), 417-437.
29. Kulinska E., Dendera-Gruszka M., 2019. Green cities, problems and solutions in Turkey. *Transportation Research Procedia*, 39, 242-251.
30. Leclercq R., 2017. The politics of risk policies in Dakar, Senegal. *Int. J of Disaster Risk Reduction*, 26, 93-100.
31. Luck M.A., Jenerette G.D., Wu J., Grimm N.B., 2001. The urban funnel model and the spatially heterogeneous ecological footprint. *Ecosystems* 4, 782–796. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-001-0046-8>.
32. Marfaing L., 2019. Dakar ville moderne: la médiation des entrepreneurs sénégalais en Chine. *Canadian Journal of African Studies / Revue canadienne des études africaines*, Routledge Ed., 53(1), 89-107.
33. Mupepi O. & Matsa M. M., 2023, A combination of vegetation condition index, standardized precipitation index and human observation in monitoring spatio-temporal dynamics of drought. A case of Zvishavane District in Zimbabwe, *Environmental Development* 45 (2023) 100802, Published online 13 January 2023, Accessed 14 February 2023, <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100802>
34. Naresh Kumar M., Murthy C.S., Sessa Sai M.V.R. and Roy P.S., 2009, On the use of Standardized Precipitation Index (SPI) for drought intensity assessment, *Met. Apps*, 16: 381-389, Accessed 14 February 2023, <https://doi.org/10.1002/met.136>.
35. Ndiaye M., Diop C. et Sagna P., 2020. Le maraîchage à Malika face à la variabilité climatique dans la région de Dakar (Sénégal), *Revue de géographie du Laboratoire Leïdi « Dynamiques des territoires et développement »*, n° 24, pp. 319-334.
36. Ndiaye M.L., Ndiaye E.H.A.D., Traore V.B., Diaw A.T., Beye A.C., 2016. Impacts of rainfall variability and urban sprawl on the environment and the population well-being at Ouakam Commune, Dakar, Senegal. *Archives of Current Research International* 6(2): 1-12 ; Article no.ACRI.30214 ISSN: 2454-7077
37. Ndiaye M.L., Pfeifer H.R., Niang S., Dieng Y., Tonolla M., Peduzzi R., 2010. Impacts de l'utilisation des eaux polluées en agriculture urbaine sur la qualité de la nappe de Dakar (Sénégal). *Vertigo*, 1(2), <http://vertigo.revues.org/9965>
38. Norman G., Scott P., Pedley S., 2011. The PAQUD settled sewerage project (Dakar, Senegal): Problems arising, lessons learned. *Habitat International*, 35, 361-371.
39. Orange D., Gérino M., Costa D.T., Stinckwich S., 2018. SmartCleanGarden concept: de multiples innovations pour gérer les eaux usées urbaines. *IRD LeMag*, <https://lemag.ird.fr/fr/smart-clean-garden-concept-de-multiples-innovations-pour-gerer-les-eaux-usees-urbaines>
40. Guttman N.B., 1994. On the sensitivity of sample L moments to sample size. *Journal of Climate*, 7(6):1026–1029.
41. Paterson D.L., Wright H. and Harris P.N., 2018. Health risks of flood disasters. *Clin. Infect. Dis.*, 67(9), 1450–1454, DOI: 10.1093/cid/ciy227
42. Pettitt A.N., 1979. A Non-parametric Approach to the Change-point Problem. *App. Statist.*, 28(2):126-135.
43. Pohlert T., 2020, trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R package version 1.1.4, <<https://CRAN.R-project.org/package=trend>>.
44. PROGEP, 2012. PROGEP : Etude pour l'élaboration d'une stratégie nationale de planification et de gestion urbaine intégrées, prenant en compte la prévention des risques d'inondations et l'adaptation au changement climatique. Rapport diagnostic Phase I, ADM, Dakar – Sénégal.
45. R Core Team, 2022, R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, R version 4.2.2, Vienna, Austria, URL <https://www.R-project.org/>.
46. Rees W., Wackernagel M., 1996. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, 16, 223–248.
47. Sagna P., 1995. L'évolution pluviométrique récente de la Grande Côte du Sénégal et de l'Archipel du Cap-Vert, in *Revue de géographie de Lyon*, n° 3-4, pp. 187-192.
48. Sailer R. A., Hayes M. & Bressan L., 2002, Using the Standard Precipitation Index for Flood Risk Monitoring, *Int. J. Climatol.*, 22(11), pp. 1365-1376, doi:10.1002/joc.799
49. Sall M., Vanclooster M., 2009. Assessing the well water pollution problem by nitrates in the small scale farming systems of the Niayes region, Senegal. *Agr. Water Management*, 96, 1360-1368.
50. Scott R, Scott P, Hawkins P, Blackett I, Cotton A, Lerebours, A, 2019. Integrating basic urban services for better sanitation outcomes. *Sustainability*, 11, 6706; doi:10.3390/su11236706
51. Setty K.E., Enault J., Loret J.-F., Serra C. P., Martin-Alonso J., Bartram J., 2018, Time series study of weather, water quality, and acute gastroenteritis at water safety plan implementation sites in France and Spain. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 221(4), 714–726, doi:10.1016/j.ijheh.2018.04.001
52. Sharifi M., Kawakubo S., Milovidova A., 2020. Urban sustainability assessment tools: toward integrating smart city indicators. In: *Creating Sustainable Smart Cities in the Internet of Things Era*, Ed. Urban Systems Design, Chapter 11, 345-372.
53. Tellman B., Sullivan J. A., Kuhn C., Kettner A. J., Doyle C. S., Brakenridge G. R., Erickson T. A., & Slayback D. A., 2021. Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596(7870), 80–86, doi:10.1038/s41586-021-03695-wTheys J, Emelianoff C, 2001. Les contradictions de la ville durable. *Le Débat*, 113(1), 122-135. doi:10.3917/deba.113.0122.

54. Templeton M. R., Hammoud A. S., Adrian P. B., Braun L., Foucher J.-A., Grossmann J., Boukari M., Faye S. and Jourda J. P., 2015. Nitrate pollution of groundwater by pit latrines in developing countries, American Institute of Mathematical Sciences, Environmental Science, vol. 2, issue 2, pp. 302-313. DOI: 10.3934/environsci.2015.2.302
55. Trambly Y., Mimeau L., Vinet F. & Sauquet E., 2019. Detection and Attribution of Flood Trends in Mediterranean Basins. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 23, 4419–4431. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-23-4419-2019>
56. Vernay A.L., Rahola T., Ravesteijn W., 2010. Growing food, feeling change: towards a holistic and dynamic approach of eco-city planning. In Ravesteijn W, Cooke P: Eco-city concepts and approaches, 3rd Int Conf on Next Generation Infrastructure Systems for Eco-Cities, Shenzhen, 10-13 nov2010.
57. World Meteorological Organization (WMO), 2016, *Handbook of Drought Indicators and Indices*. WMO-No. 1173, Geneva, 45 p.
58. Zhang R., Bento V. A., Qi J., Xu F., Wu J., Qiu J., Li J., Shui W. & Wang Q., 2023, The first high spatial resolution multi-scale daily SPI and SPEI raster dataset for drought monitoring and evaluating over China from 1979 to 2018, *Big Earth Data*, published online 3 January 2023, Accessed 14 February 2023, DOI: 10.1080/20964471.2022.2148331

## Le déficit de l'utilisation de l'eau géothermale et des substrats locaux pour l'installation de la culture hors sol chez les petits agriculteurs au sud tunisien

Nadia Elabed<sup>1</sup>, Asma Boubris<sup>2</sup>, Mohamed Elawad<sup>3</sup>, Mansour Haddad<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Technical center of protected and geothermal crops, Gabes, Tunisia,

<sup>2</sup>Department of biology, Faculty of sciences of Sfax, Tunisia,

<sup>3</sup>Technical center of protected and geothermal crops, Gabes, Tunisia,

<sup>4</sup>Aridiculture and oasis cultures laboratory, Institute of Arid Regions, Gabes, Tunisia,

### Résumé

*Au sud tunisien l'exploitation des eaux géothermales a été une opportunité pour le développement agricole des cultures intensives protégées. Dans cette partie de la Tunisie, la production de légumes atteint 30 000 tonnes dont 35% sont exportés. Cependant les maladies telluriques et la salinisation du sol ont fragilisé ce secteur et ont rendu sa durabilité à l'épreuve.*

*L'objectif principal de la présente étude est de résoudre ces problèmes par la culture hors sol en utilisant des substrats locaux adaptés à la salinité de l'eau d'irrigation et un système local durable. En le comparant avec la culture en plein sol on a pu économiser jusqu'à 60% d'eau d'irrigation et 30% des apports d'azote et de potassium. Nos travaux de recherche ont été effectués pendant plusieurs campagnes sur la culture de tomate. L'expérience a été réalisée en blocs complètement aléatoires en cinq répétitions, pour comparer à chaque fois trois substrats locaux avec le substrat importé les fibres de coco comme témoin positif et la culture en plein sol comme témoin négatif. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, du sol et des différents substrats ont été analysées au début et à la fin de chaque campagne agricole. Une augmentation significative du rendement, du poids des fruits, de la longueur des plantes et du diamètre des tiges est enregistrée dans les substrats par rapport au sol. En plus, nos résultats ont révélé que les substrats organiques locaux, pourraient être des alternatives prometteuses au substrat de fibres de coco importé dans les cultures hors-sol.***Mots clés :** Inventaire, Evaluation, Géomorphosites, Talasemtane, IGUL

**Mots-clés :** Culture hors sol, Eaux géothermales, Substrats locaux, Analyse physico-chimique.

## The challenge of using geothermal water and local substrates for the installation of soilless culture among small farmers in southern Tunisia

### Abstract:

*In southern Tunisia, the exploitation of geothermal waters was an opportunity for the agricultural development of protected crops. In this part of Tunisia, vegetable production reaches 30,000 tonnes, 35% of which is exported. However, land-based diseases and soil salinization have weakened this sector and put its sustainability to the test.*

*The main objective of the present study is to solve these problems through soilless culture using local substrates adapted to the salinity of the irrigation water and a sustainable local system. Comparing it with soil cultivation, it was possible to save up to 60% of irrigation water and 30% of nitrogen and potassium inputs. Our research was carried out during several campaigns on tomato cultivation. The experiment was carried out in completely random blocks in five replications, to compare each time three local substrates with the imported substrate coconut fibers as a positive control and cultivation in soil as a negative control. The physicochemical characteristics of water, soil and different substrates were analyzed at the beginning and end of each agricultural campaign. A significant increase in yield, fruit weight, plant length and stem diameter is recorded in the substrates compared to the soil. In addition, our results revealed that local organic substrates could be promising alternatives to imported coconut fiber substrate in soilless crops.*

**Key Words:** Soilless cultivation, Geothermal waters, Local substrates, Physicochemical analyses

<sup>1</sup> Corresponding author: [abednadia55@yahoo.fr](mailto:abednadia55@yahoo.fr)

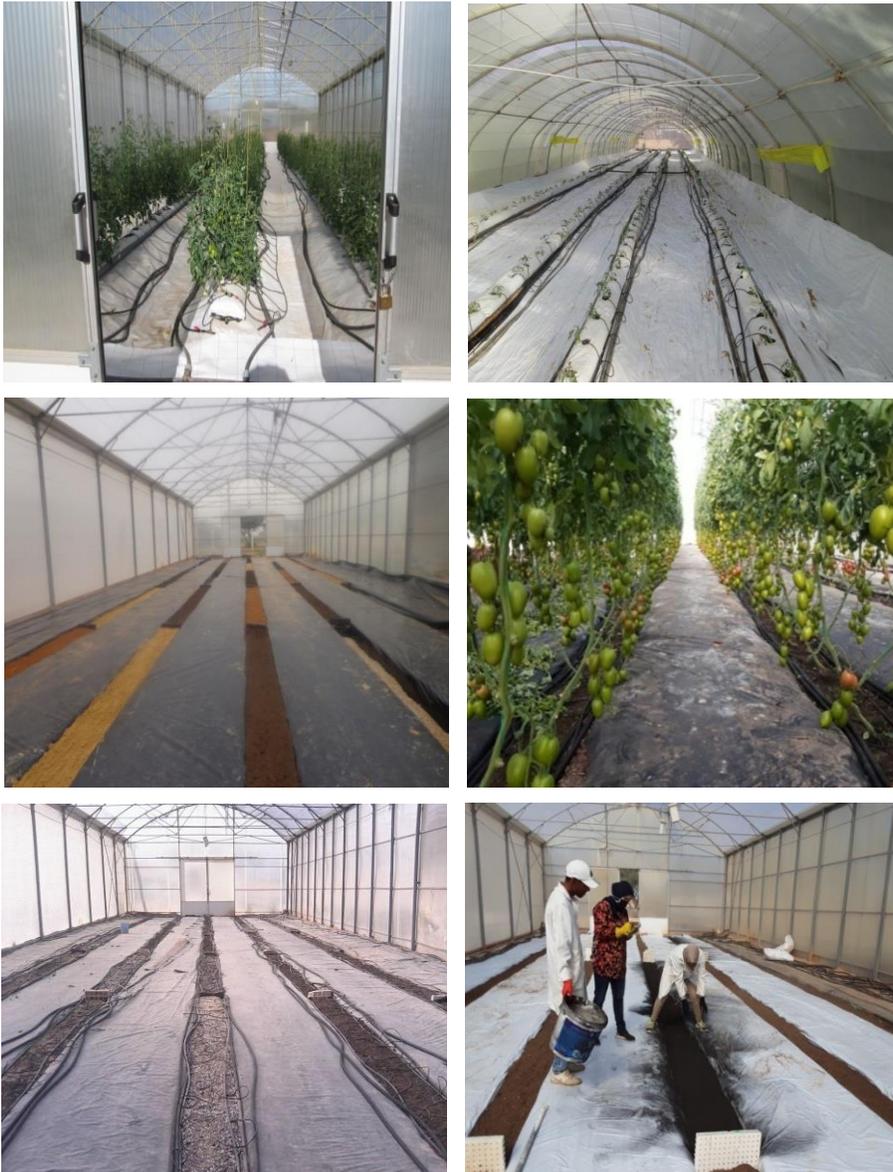
## INTRODUCTION

La Tunisie est l'un des pays les plus touchés par les effets des changements climatiques. Elle fait face aujourd'hui à un grand enjeu, celui de la rareté des ressources en eau. Dans le Sud tunisien, la réalisation de forages profonds dans la nappe du Continental Intercalaire a été exécutée principalement pour la sauvegarde des oasis existantes et a dégagé un potentiel géothermique important qui permet de procéder au chauffage des cultures sous serres à un coût nettement moindre à celui obtenu par le chauffage classique. Par ailleurs, les produits des serres chauffées par la géothermie, gagnant en précocité et livrés en contre saison et selon un calendrier de production judicieusement établi, permettent un meilleur positionnement sur le marché européen et des marges commerciales intéressantes. Cette activité est pratiquée actuellement (2024) par 340 agriculteurs et procure environ 300.000 jours de travail par campagne. Les eaux géothermales du Sud tunisien ont une conductivité électrique (CE) située entre 3,2 et 4,5 dS/m, un résidu sec (RS) entre 2,3 et 4,0 g/l et un taux de sodium adsorbé (SAR) entre 5 et 10 avec une forte teneur en Ca, Mg, Na et Cl. Ces eaux possèdent ainsi des faciès géochimiques chlorurés sulfatés calciques et sont à fort pouvoir de salinisation et à faible pouvoir d'alcalinisation (Ben Hassine et al., 1996) c'est qui a engendré la salinisation et la dégradation des sols après des longues années d'utilisation de ces eaux en irrigation. La culture de deux familles seulement sous serres au sud : les cucurbitacées et les solanacées en intensif a engendré la prolifération de parasites et des maladies telluriques. Par ailleurs la dégradation des sols, le changement climatique et les attaques de parasites et de maladies ont diminué la production de primeurs sous serres dans le sud tunisien.

La culture hors-sol, un système de culture dans des environnements fermés et contrôlés qui nécessite moins d'eau et de produits chimiques comme les engrais, les pesticides et les herbicides, pourrait en partie être la solution à ce problème pour maintenir une activité agricole productive dans les zones où les faibles ressources disponibles en eau et en terres fertiles constituent les principaux freins à la production alimentaire. Les rendements sont supérieurs à ceux de la culture en pleine terre et pour des rendements sains, on peut utiliser des engrais bio. Pour mettre en place l'hors sol, il faut une haute technicité et de lourds investissements : La production de légumes cultivés sur substrat nécessite des installations particulières, un suivi journalier des cultures et de bonnes connaissances techniques, notamment pour le calcul des solutions nutritives. Dans ce contexte il paraît nécessaire de mettre rapidement des outils et des connaissances techniques à la disposition des producteurs. La demande se porte sur la gestion des cultures avec plus particulièrement le choix de système de production, le substrat, le calcul des solutions nutritives et la gestion des irrigations. L'objectif de cette étude est de mettre en place un système de production hors sol adapté aux serres monotonnelles, sélectionner des substrats locaux adaptés aux conditions de production et calculer les apports optimaux en substances nutritives.

## MATERIELS ET METHODES

Soucieux de répondre à l'attente des producteurs de légumes sous serres chauffées et irriguées par l'eau géothermale, le centre technique de cultures protégées et géothermiques a commencé ses expériences depuis 2017 pour adapter la culture hors sol aux conditions de production sous serres mono tunnelles chez les petits agriculteurs.



**Fig 1.** Mise en place de différents systèmes de culture hors sol et amélioration des substrats locaux pour l'adaptation de cette technique aux petits agriculteurs

### **Emplacement, matériel végétal et conception expérimentale**

Cette étude a été réalisée à la station expérimentale du Centre Technique des Cultures Protégées et géothermiques, situées à Chenchou, sud de la Tunisie (33°53'42,0'N, 9°52'31,0'E). Ce site est situé à une altitude de 72 mètres au-dessus du niveau de la mer, le climat est désertique subtropical. L'expérience a été réalisée sous un tunnel de 300 m<sup>2</sup> (9,6 x 31,0 m) recouvert d'un film de polyéthylène de 200 µm, en blocs complètement aléatoires avec cinq répétitions et cinq traitements : (1) témoin négatif (sol limoneux sableux : SO); (2) sable de l'oued (SA), (3) compost de tronc de palmier dattier (PT) ; (4) compost de résidus

de palmier dattier (70%) + fumier ovin (30%) (PM) ; et (5) de la fibre de coco comme témoin positif (CF) (substrat commercial importé). Les substrats sont mises en place dans des fossées isolées du sol par un film plastique rigide pour bénéficier de l'effet tampan du sol lors des périodes froides et libérer le maximum de hauteur pour le palissage des plants de tomate sous serres monotunelles, type de serres utilisé par les petits agriculteurs.

### Les paramètres mesurés

Les plantes ont été cultivées pendant une période de neuf mois et les indices de croissance comprenant le diamètre de la tige (mm), la hauteur de la plante (cm) et le nombre de feuilles ont été mesurés tous les deux semaines. A la fin de l'expérience, les plantes entières ont été récoltées et le poids sec des racines (g/plante) et de la partie aérienne (g/plante) ont été mesurés. A chaque récolte, les fruits mûrs étaient récoltés et pesés pour déterminer le poids moyen des fruits et les rendements commercialisables. Les échantillons destinés à l'évaluation de la qualité des fruits ont été collectés en mars. Chaque répétition était composée de six tomates sélectionnées de fruits collectés sur 10 plantes par traitement. Les tomates ont été coupées en quatre parties. Un quart de chacun des six fruits a été combiné pour obtenir une réplique (un total de six quarts) et homogénéisé avec un mélangeur à main. L'homogénat résultant a été utilisé pour la détermination du Brix, du pH et de l'acidité titrable et des sucres totaux le même jour que la récolte.

Certaines caractéristiques physicochimiques des substrats de culture ont également été évaluées. La densité apparente et la capacité de rétention d'eau ont été analysées selon les normes européennes standards décrites par Tittarelli et al. (2009). La conductivité électrique (CE) et le pH ont été déterminés avec un rapport de 1:5 (Asiah et al., 2004).

### Solutions nutritives à base d'engrais simples

En partant de la solution Coic-Lesaint pour la fertilisation des cultures de légumes sur substrat (solution pour plantes neutrophiles type 14,4 milliéquivalents d'azote par litre), la solution nutritive a été modifiée après deux saisons de culture pour la rendre plus adaptée aux conditions de production sous serres irriguées et chauffées par les eaux géothermales. L'eau géothermale contenait des quantités importantes de sels minéraux tel que le calcium, le magnésium, le soufre et le fer et la solution nutritive injectée est composée des engrais à base de NPK. Le besoin en eau est calculé en fonction du stade végétatif et de l'ETP, pour déterminer ensuite le volume et le nombre d'apports de solutions à réaliser. Les périodes de plus faible consommation de solutions nutritives correspondent au début du cycle et aux périodes froides (septembre à novembre) où le plant est encore jeune (300 à 500 CC/plant/j), alors que les moments de forte consommation correspondent aux périodes de pleine croissance par temps chaud, qui s'étalent de mars à juin (1 à 2 L/plant/j). L'injection est étalée sur toute la journée et s'arrête la nuit. Le déclenchement du premier apport a lieu en début de matinée. Les périodes d'injection à éviter sont surtout le milieu de la journée par temps chaud où les stomates sont fermés, ce qui réduit la consommation en fertilisants et favorise les pertes inutiles de minéraux dans le drainage.

**Tab. I** - Solution nutritive adaptée à la tomate indéterminée hors sol au sud tunisien

	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{HPO}_4^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
Eau géothermale	0	0	0,83	12	9,5	0	10
Norme de fertilisation	12	2	9,5	9,4	4,8	2	4,5
Solution nutritive	12	2	8,67	0	0	2	0

L'eau géothermale dans notre expérience contient suffisamment de calcium, magnésium et soufre pour couvrir la demande d'une culture de tomate sous serre. On ajoute d'abord l'acide phosphorique pour couvrir une partie des besoins de plantes en phosphore et maintenir le pH de l'eau d'irrigation entre 5,5 et 6,5, niveau d'acidité auquel le carbonate de calcium et le carbonate de magnésium restent en solution, L'acidification

dissout les précipités qui se forment dans le système d'irrigation et libère le calcium et le magnésium liés au bicarbonate et le rendre disponibles aux plantes. Puis on ajoute les besoins des plantes en azote et potassium.

**Tableau 2 - Besoins en acides et en engrais pour préparer la solution nutritive**

	Quantité D'engrais/m <sup>3</sup> eau	N0 <sup>3-</sup>	NH <sup>4+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HPO <sup>4-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Eau géothermale		0	0	0.83	12	9.5	0	10
Acide phosphorique 75%	166 ml						2 éq	
Nitrate de potassium	885 g	1,85 éq		8,67 éq				
Ammonitre	215 g	0,6 éq	2 éq					

Les engrais utilisés sont principalement des engrais simples : l'acide phosphorique, le nitrate de potassium et l'ammonitre, mais on a utilisé aussi des autres engrais NPK composés pour compléter les besoins des plantes en azote en remplaçant l'acide phosphorique par l'acide nitrique et réduisant la quantité de nitrate de potassium.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

**Tableau 3 - Effet des substrats de culture sur la longueur des plants de tomate**

	15 janvier	30 janvier	15 février	2 mars	17 mars	1 avril
FC	60 a	91,26 ab	113,06 b	134,93 b	145,66 b	165,13 b
SO	56,33 a	80,86 c	97,33 c	120,86 c	131,26 c	147,6 c
SA	60,33 a	88,46 b	109,8 b	132,46 b	143,8 b	161,9 b
PM	57,26 a	86,13 bc	107,73 b	129,40 bc	137,2 bc	157,2bc
PT	62,46 a	97,8 a	122 a	146,40 a	159,46 a	179,33 a

Les résultats de la mesure des longueurs des plantes cultivées sur les différents substrats de culture, à un intervalle de deux semaines, ont montré une différence significative entre les traitements. Les plantes cultivées sur le compost de tronc de palmier dattier étaient les plus hautes suivies par celles cultivées sur le substrat de fibres de coco.

**Tableau 4 - Effet des substrats de culture sur le diamètre des plants de tomate**

	15 janvier	30 janvier	15 février	2 mars	17 mars	1 avril
FC	.081 ab	.097 a	1.1 a	1.22 a	1.35 ab	1.42 a
SO	.073 b	.093 ab	.096 b	0.99 b	1.15 c	1.23 b
SA	.079 ab	.088 b	1.03b	1.06 b	1.2 b	1.29 b
PM	0.80 ab	.094 ab	.098 b	1.07 b	1.25 bc	1.35 ab
PT	0.86 a	.099 a	1.13 a	1.20 a	1.38 a	1.43 a

Au cours des mesures effectuées, le diamètre de la tige variait considérablement ( $P < 0,05$ ) entre les traitements (Tableau 4). Les plantes les plus vigoureuses ont été cultivées sur le compost de tronc de palmier dattier et les fibres de coco avec un diamètre moyen de tige de 14 mm en sixième mesure.

**Tableau 5 - Effet des substrats de culture sur le nombre des feuilles des plants de tomate**

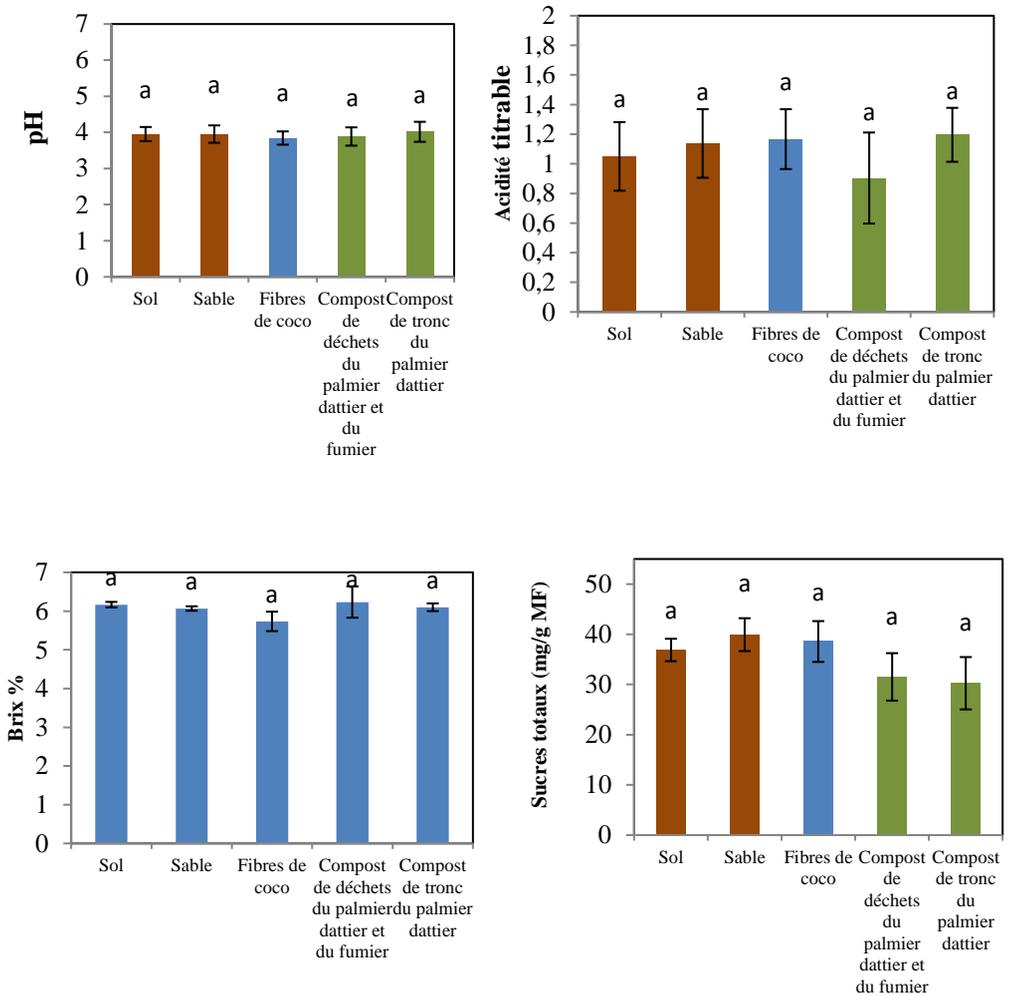
	15 janvier	30 janvier	15 février	2 mars	17 mars
FC	5,13 a	12 ab	14,93 ab	16,73 ab	24,46 ab
SO	5,53 a	11,86 ab	14,46 b	15,26 b	22,8 c
SA	4,66 a	11,73 ab	14,33 b	16,8 ab	23,26 bc
PM	5,2 a	11,26 b	14,33 b	15 b	23,86 bc
PT	5,66 a	12,46 a	15,53 a	17,53 a	25,6 a

**Tableau 6 - Effet des substrats de culture sur le rendement de la culture de tomate ( $\text{Kg/m}^2$ ) et le poids de fruits**

	Rendement ( $\text{Kg/m}^2$ )	Poids de fruits (g)
FC	25	93,19 a
SO	12	92,35 a
SA	14	91,17 a
PM	20	95,59 a
PT	24	91,62 a

Le rendement total des plants de tomate a été influencé par l'utilisation de différents substrats, Les fibres de coco ont donné le meilleur rendement ( $25 \text{ kg/m}^2$ ) alors que les rendements des autres traitements s'organisent comme suit: le compost de tronc de palmier dattier ( $24 \text{ kg/m}^2$ ), le compost de déchets d'oasis et du fumier ( $20 \text{ kg/m}^2$ ), le sable ( $14 \text{ kg/m}^2$ ) et le sol ( $12 \text{ kg/m}^2$ ).

### Analyse de la qualité des fruits



**Fig 2 :** Degré Brix, pH, sucres totaux, acidité titrable du ju de tomates cultivées sur différents substrats. Les traitements affectés de lettres différents sont significativement différents au seuil de signification 5% selon le test de Duncan.

Une teneur élevée en sucre et un pH faible améliore la qualité des tomates (Davies et Hobson, 1981). Lors de cet expérience, la teneur en matière sèche soluble (°Brix), Le pH, l'acidité titrable et les sucres totaux du jus du fruit de tomate n'ont pas enregistré des différences significatives entre les substrats.

## Caractéristiques physico chimiques des substrats

**Tableau 5-** Propriétés physico-chimiques des substrats étudiés au début et à la fin de culture. PM : compost de résidus de palmier dattier et fumier ovin; PT : compost de tronc de palmier dattier ; CF : fibre de coco, S : sol.

		FC	PT	PM	SA	SO
pH	Début de culture	6,5	6,7	7	7,5	7,8
	Fin de culture	7,1	7	7,2	7,8	7,5
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	Début de culture	6	4	4,2	1,8	2,8
	Fin de culture	12	6,3	6,5	2,5	3,5
Capacité de rétention d'eau	Début de culture	79	50	35	5	15
Densité apparente (%)	Début de culture	0,12	0,26	0,14	1,6	1,4

Un pH recommandé de substrat est de 5,8 à 6,5 pour que tous les éléments nutritifs soient disponibles aux plantes. Les données du tableau 5 montrent qu'il y avait une différence significative concernant le pH et la CE de différents substrats de culture. Le CF était le substrat le plus acide et a enregistré l'EC la plus élevée à la fin de culture. Le sol et le sable ont enregistré le pH le plus élevé mais l'EC la plus faible. Les conductivités électriques de composts dépassent les valeurs optimales des substrats pour la croissance des plantes (0,75 à 3,5 dS.m<sup>-1</sup>) indiquées par Warncke (1986) et celles recommandées par Abad et al. (1997) comme optimum pour la culture hors sol (0,75-1,99).

Les capacités de rétention d'eau des substrats variaient entre 5% et 79% dans le sable et le FC, respectivement. Les substrats organiques locaux (PM et PT) montrent des valeurs intermédiaires d'environ 35 à 50%. Une capacité de rétention en eau entre 50 et 70% d'un support de culture est à respecter. Dans cette étude seulement les fibres de coco et le compost de tronc de palmier dattier ont une capacité qui s'approche de l'optimale.

Dans certaines productions hors-sol, la densité apparente peut devenir un critère de sélection de substrat. Un substrat de faible densité est plus adapté pour les productions sous serre qui nécessitent beaucoup de manutention (Wallach 2008). Le sol a enregistré la masse volumique apparente la plus élevée du fait qu'il présente le degré de compactage le plus important. Les substrats organiques (FC, PT et PM) ont les densités respectives 0,12, 0,26 et 0,14.

## Expérience 2

On a mené cet expérience après trois campagnes agricoles pour améliorer la capacité de rétention en eau du compost de tronc de palmier dattier pour réduire le risque de dessèchement de substrat et le flétrissement des plantes et améliorer la qualité et le rendement, par ajout de différents pourcentage de perlite.

## Expérience 3

L'expérience consiste à l'ajout de petite quantité de biochar au compost, produit par pyrolyse de déchets des arbres, procédé qui consiste en un chauffage entre 250°C et 650°C en l'absence d'oxygène. Il en résulte

la production d'un composé solide noir qui est le biochar. La porosité du biochar obtenu lui confère une surface spécifique de 420 m<sup>2</sup>/g qui conduit à de grandes capacités d'adsorption : c'est en quelque sorte un réservoir qui peut stocker jusqu'à deux fois et demie son volume en eau. Quand la plante a besoin d'eau, pendant les périodes de sécheresse, elle ira la chercher dans ce que le biochar a stocké. Le biochar est aussi une solution pour la séquestration à long terme du carbone : une tonne de biochar stocke jusqu'à 3 tonnes de CO<sub>2</sub>. L'expérience a donné des très bons résultats concernant l'amélioration des caractéristiques physicochimiques du compost et l'augmentation du rendement.

## CONCLUSION

Après plusieurs années d'expériences, nos résultats ont montré que la technique de culture hors sol dans des fossées en utilisant le compost de tronc de palmier dattier seul ou amélioré par des autres additifs a donné des rendements proches de ceux de substrat commercial importé les fibres de coco et a contribué à minimiser le coût d'installation de culture d'hors sol.

## Références

- [1] H. Ben Hassine, F. Bouksila, A. Mtimet, C. Zidi, Les cultures sous serres irriguées par les eaux géothermales dans le Sud Tunisien (Tozeur, Kébili et Gabès). Document méthodologique des données de base (eau et sol), (1996).
- [2] F. Tittarelli, E. Rea, V. Verrastro, JA. Pascual, S. Canali, FG. Ceglie Compost-based nursery substrates: effect of peat substitution on organic melon seedlings, *Compost Sci Util*, 17(4) (2009):220–228
- [3] A. ASIAH, I. RAZI, Y. KHANIF, M. MARZIAH, M. SHAHARUDDIN. Physical and Chemical Properties of Coconut Coir Dust and Oil Palm Empty Fruit Bunch and the Growth of Hybrid Heat Tolerant Cauliflower Plant, *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 27(2) (2004) : 121 - 133
- [4] Davies and Hobson, The constituents of tomato fruit-the influence of environment, nutrition, and genotype, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15 (1981) 205-280.
- [5] D.Warncke, Analyzing Greenhouse Growth Media by the Saturation Extraction Method, *HortScience*, 21 (1986) 212-223.
- [6] M.Abad, P. Noguera, V. Noguera, A. Roig, J. Cegarra, C. Paredes, Reciclado de residuos organicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura*, 19(1997): 92-109
- [7] R. Wallach, Chapter 3. Physical characteristics of soilless media in soilless culture, *Theory and Practice*. Amsterdam. Elsevier B.V, (2008) 41–116

## Contamination par les pesticides organochlorés des eaux de la lagune aby (Côte d'Ivoire)

Sylvie Assemian-Niango<sup>1</sup>Aka Ehu Camille<sup>2</sup>, Aka Charles Albéric<sup>3</sup>

(1,2,3) Centre de Recherches Océanologiques (CRO), Abidjan, Côte d'Ivoire

### Résumé

Les activités agricoles sont souvent à l'origine de la dégradation de la qualité des eaux de surface. En vue d'évaluer l'impact ces activités sur la qualité écologique de la lagune Aby, les pesticides organochlorés ont été recherchés dans les eaux de cette lagune. Pour ce faire, des campagnes ont été menées de juillet 2020 à février 2021. Des prélèvements saisonniers d'échantillons d'eaux ont été faits en vingt (20) stations réparties sur l'ensemble du complexe Aby. La température, la salinité, le pH, la conductivité et les teneurs en oxygène dissous des eaux lagunaires ont été mesurés in situ à l'aide d'un multiparamètre de marque HANNA HI 9829 (EN 50081-1 et EN et EN 50082-1). La transparence a été mesurée au disque de Secchi. Les dosages des orthophosphates et des nitrates ont été faits à l'aide d'un spectromètre de marque HACH DR 900 (HACH, 2014). Le dosage des pesticides organochlorés a été fait par Chromatographie en Phase gazeuse de marque Agilent GC 8890. Les paramètres physico-chimiques sont caractéristiques des eaux lagunaires ivoiriennes. Les teneurs en sels nutritifs de mêmes que les concentrations en pesticides des eaux lagunaires sont élevées au cours des saisons pluvieuses. Les teneurs en pesticides des eaux lagunaires variant de 1 à 530 µg/L sont supérieures aux limites de 0,1 à 0,3 µg/L selon la norme SEQ-EAU (2003).

**Key Words:** lagune Aby, Pesticides organochlorés, sels nutritifs, paramètres physico-chimiques

## Contamination by organochlorine pesticides of Aby lagoon's waters (Côte d'Ivoire)

### Abstract:

Agricultural activities are often the cause of deterioration in the quality of surface water. In order to assess the impact of these activities on the ecological quality of Aby lagoon, organochlorine pesticides were determined in the waters of this lagoon. To do this, campaigns were carried out on the Aby lagoon from July 2020 to February 2021. Seasonal water sampling was carried out at twenty (20) stations distributed along lagoon. Temperature, salinity, transparency, pH, conductivity and dissolved oxygen contents of lagoon waters were measured in situ using HANNA HI 9829 multiparameter (EN 50081-1 et EN and EN 50082-1). Analyses of orthophosphates and nitrates ions were made using a HACH DR 900 spectrometer (HACH, 2014). The pesticides assay was done by Gas chromatography GC Agilent 8890. The physicochemical parameters are characteristic of inorian lagoon waters. Nutrient salt contents as well as pesticide concentrations in lagoon's waters are high during rainy seasons. The concentrations of organochlorine pesticides ranging from 1 to 530 µg/L are above the regulatory limit of 1.0 to 0.3 µg/L of SEQ-EAU 2003.

**Mots clés :** Aby lagoon, organochlorine pesticides, nutrients, physicochemical

---

<sup>1</sup> Corresponding author [asviea@yahoo.fr](mailto:asviea@yahoo.fr)

## Introduction

Les pesticides organochlorés sont une grande famille de pesticides utilisés en agriculture. Leur persistance dans le milieu aquatique et leurs effets toxiques sur la faune marine sont reconnus par la communauté scientifique ([1]. Ils font désormais l'objet d'une interdiction d'usage dans de nombreux pays à cause de leur grand potentiel de contamination et de risque pour la santé humaine [2] ; [3]. Ces produits sont encore utilisés dans plusieurs pays sous-développés et en voie de développement [4] par manque de ressources nécessaires pour faire respecter les lois en vigueur [5]. Étant donné que les principales régions agricoles sont situées en majorité dans les plaines côtières et dans les vallées fluviales, les pesticides sont drainés vers ces zones côtières entraînant ainsi la contamination des eaux, des organismes aquatiques et représentant ainsi un danger pour l'homme. En Côte d'Ivoire, des études ont fait état de la présence de ces pesticides dans les lagunes Ébrié [6], Aghien et Potou [7] et de Grand-Lahou [8] ; celles portant sur les pesticides organochlorés au niveau de la lagune Aby sont très peu rapportées dans la littérature. Pourtant, les pressions agricoles sont particulièrement fortes sur les rives de cette lagune. La présente étude a donc pour objectif d'évaluer le niveau de contamination des eaux de la lagune Aby par les pesticides organochlorés.

## Matériel et méthodes

### Zone d'étude et stations d'échantillonnage

Située à l'extrême sud-est de la Côte d'Ivoire, entre les longitudes 2°50' et 3°21' Ouest et les latitudes 5°04' et 5°22' Nord, la lagune Aby couvre une superficie de 424 km<sup>2</sup> pour une profondeur moyenne de 3,8 m (Figure 1). Elle constitue, dans sa partie orientale, une frontière naturelle entre la Côte d'Ivoire et le Ghana [9]. La lagune Aby contient trois détroits larges de 4,5 km, 2 km et 1,25 km. Ces détroits permettent de la subdiviser en quatre parties ayant des régimes hydrologiques différents dues aux influences océaniques, fluviales et atmosphériques variables d'une partie à l'autre de l'ensemble du système lagunaire. Il s'agit du Nord au Sud et d'Ouest en Est de la lagune Aby nord et de la lagune Aby sud qui constituent la partie Aby du complexe lagunaire Aby, de la lagune Tendo et de la lagune Éhy [9]. Cette lagune renferme également de nombreuses îles dont six (6) d'entre elles (Assokomonobaha ou Assoko, Balouaté, Méha, Nyamouan, Éloamin et l'île sacrée Bosson-Assoun) constituent le parc national des îles Éhotilé [10]. La lagune Aby est alimentée par deux principales rivières forestières que sont la Bia au Nord et la Tanoé à l'Est et également par plusieurs petites rivières non moins importantes telles que l'Éholié au Nord et le Toudoum à Eplémlan. Les échanges d'eaux entre la lagune et l'océan Atlantique se font par le grau d'Assinie Mafia. Cependant ces échanges sont réduits car gênés par un ensemble de chenaux (les îles barrières) situés au niveau de la lagune Aby sud [11].

La lagune Aby est située dans la région d'Adiaké dont le climat est de type équatorial de transition caractérisé par le découpage saisonnier suivant:

- Grande saison sèche de décembre à mars;
- Grande saison des pluies d'avril à juillet;
- Petite saison sèche d'août à septembre et
- Petite saison des pluies d'octobre à novembre [12]; [13].

Les critères de choix des stations sont d'une part les zones proches de grandes agglomérations (Adiaké, Tiapoum), les exutoires des principaux affluents de la lagune (Bia, Tanoé et Éholié), les exutoires du système lagunaire Aby dans l'océan, les plantations agro industrielles et d'autre part la représentativité de l'ensemble du système lagunaire Aby (Figure 2). Ainsi, la station 1 (Eléman-M'boin) est à cheval entre les lagunes Aby Nord et Aby Sud. Les stations 2, 10 à 12 et 13 sont situées au niveau de la lagune Aby Sud. En outre, les stations 10 à 12 (Kakoukro, Angboudjou et Eboïndo I, respectivement) sont situées au niveau du chenal par lequel le système lagunaire communique avec l'océan. Les stations 14 à 20 sont situées au niveau de la lagune Aby nord avec les exutoires de la Bia, de l'Éholié respectivement aux stations 16, 17 et la station 14 située à proximité de la ville d'Adiaké. Les stations 3 à 7 sont au niveau de la lagune Tendo avec l'exutoire de la Tanoé à la station 7. Les stations 8 et 9 sont quant à elles situées au niveau de la lagune Éhy.

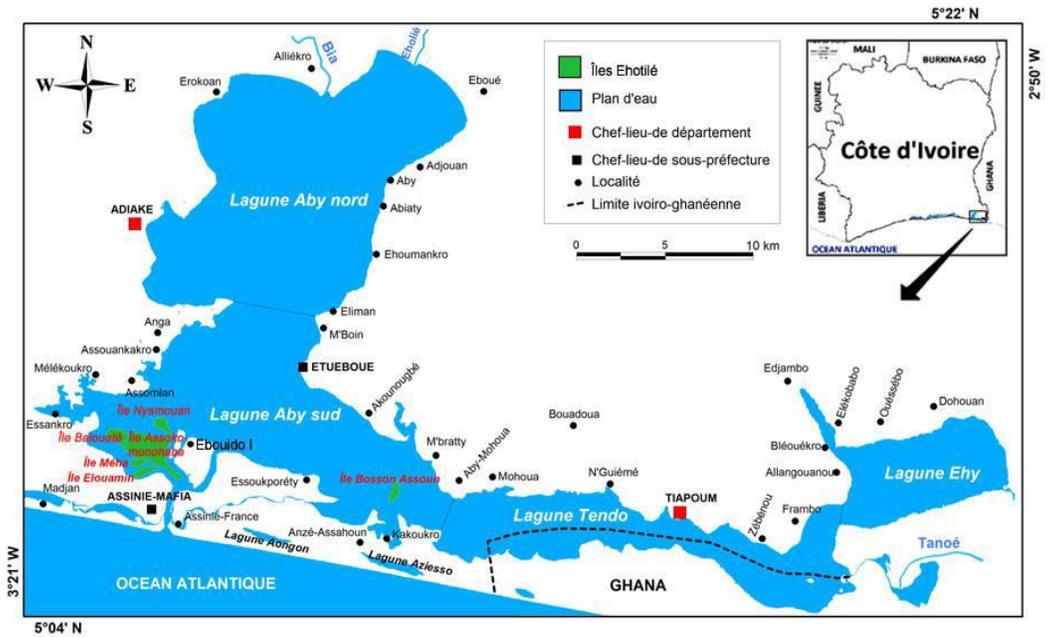


Figure 1. Présentation du système lagunaire Aby (Source: Centre de Recherches Océanologiques (CRO))

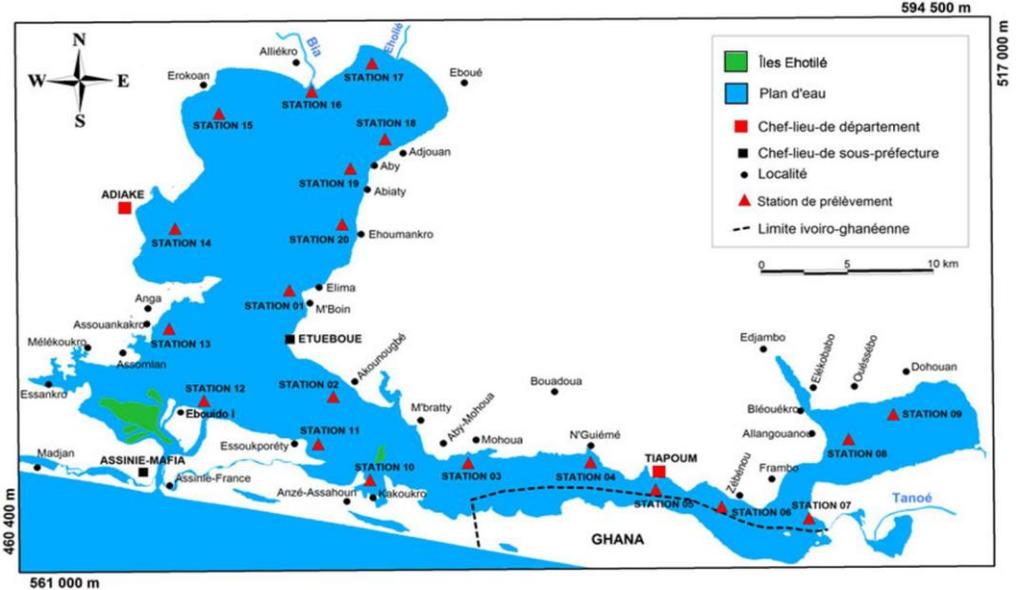


Figure 2: Stations d'échantillonnage

Les coordonnées géographiques des stations d'échantillonnage sont présentées dans le tableau I.

Tableau I: Coordonnées géographiques des stations d'échantillonnages

Noms des stations	N° stations	Coordonnées géographiques (UTM)	
		X	Y
<u>Eléman-M'boin</u>	1	476200	578100
<u>Akounougbe</u>	2	478700	571600
<u>Moya</u>	3	486500	567500
<u>N'guiémé</u>	4	493600	567500
<u>Tiapoum</u>	5	497300	565600
<u>Zébérou</u>	6	501100	564600
<u>Tanoé</u>	7	506100	565300
<u>Allangouanou</u>	8	508600	568800
<u>Quessébo</u>	9	511200	570300
<u>Kakoukro</u>	10	480800	566500
<u>Angboudjou</u>	11	477800	568700
<u>Eboindou I</u>	12	471200	571400
<u>Assouankakro</u>	13	469200	575800
<u>Adiaké</u>	14	469600	581900
<u>Erokoan</u>	15	472200	588900
<u>Bia</u>	16	477600	590200
<u>Eholié</u>	17	481100	591900
<u>Adjouan</u>	18	482300	58800
<u>Aby-Abiaty</u>	19	479800	585500
<u>Ehouankro</u>	20	479300	582100

### Échantillonnage

Les déplacements sur la lagune en vue des échantillonnages se sont faits à l'aide d'un hors-bord. Un GPS (Global Positioning System) de marque Garmin (GPSMAP 64 SC) a permis de localiser les différentes stations. Au cours d'une campagne de juillet 2020 à février 2021, des prélèvements saisonniers d'échantillons d'eaux ont été faits en vingt (20) stations réparties sur l'ensemble du complexe Aby. La température, la salinité, le pH, la conductivité et les teneurs en oxygène dissous des eaux lagunaires ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multiparamètre de marque HANNA HI 9829 (EN 50081-I et EN et EN 50082-I). La transparence a été mesurée au disque de Secchi. Les dosages des orthophosphates et des nitrates ont été faits à l'aide d'un spectromètre de marque HACH DR 900 (HACH, 2014). Les échantillons d'eau destinés au dosage des pesticides ont été prélevés à l'aide d'une bouteille Niskin et conservés dans des bouteilles en verre. En vue de les stabiliser, les bouteilles ont été placées dans une glacière à 4°C. 25 ml de solvant (hexane) ont été ajoutés à 500 ml de chaque échantillon. Les échantillons ont ensuite été agités pendant 30 mn à l'aide d'un agitateur puis placés dans des ampoules à décanter. Les sumageants ont été recueillis et purifiés sur une colonne de florisol. Les extraits purifiés ont été préconcentrés et prêts pour le dosage.

Le dosage des pesticides organochlorés a été fait par Chromatographie en Phase gazeuse de marque Agilent GC 8890.

### Résultats et Discussion

Tableau II: Moyennes, coefficients de variabilité, valeurs minimales et valeurs maximales des paramètres physico-chimiques en fonction des saisons

		Température (°C)	Salinité (‰)	pH	Conductivité (µS/cm)	Transparence (m)	Oxygène dissous (mg/L)	
Grande saison	Moy	29,73	1,63	7,87	3794,8	1,03	6,94	
	écart	CV	3,3	81	10,45	76,58	31,22	14
	Min	29,25	0	6,4	8835	0,5	4,91	
	Max	31,63	3,3	8,9	6191,07	1,9	7,29	
Grande saison des pluies	Moy	29,82	0,76	7,17	982,74	0,43	4	
	écart	CV	3,81	122,9	8,93	72,01	36,47	11,8
	Min	27,1	0	3,44	32,47	0,13	3,7	
	Max	32,33	1,6	8,67	1974,67	0,73	6,91	
Petite saison	Moy	27,72	0,46	7,12	421,68	1,23	3,74	
	écart	CV	2,44	227,3	8,02	76,36	36,6	32,07
	Min	26,4	0	3,63	47,65	0,89	3,99	
	Max	28,73	4,73	8,08	1341,93	1,89	11,13	
Petite saison des pluies	Moy	29,32	0,17	7,17	424,67	0,95	4,36	
	écart	CV	1,62	119,22	3,3	95,11	29,44	31,09
	Min	28,13	0	6,82	34,05	0,6	1,39	
	Max	29,53	0,68	7,72	790	1,6	6,27	

### Paramètres physico-chimiques

Le tableau II présente les moyennes, les coefficients de variation, les valeurs minimales et maximales de la température, de la salinité, du pH, de la conductivité, de la transparence et de la teneur en oxygène dissous des eaux de surface de la lagune Aby en fonction des saisons hydroclimatiques.

Les températures moyennes varient de 27,72°C en petite saison sèche à 30,73°C en grande saison sèche (Tableau II). Les eaux lagunaires sont plus chaudes pendant la grande saison sèche et plus froides pendant la petite saison sèche (saison d'upwelling). La lagune Aby est caractérisée par une variation thermique moins importante comme l'indiquent les faibles coefficients de variation observés. Il en est de même des lagunes Ébrié, de Grand-Lahou et de Fresco [13] ; [14] ; [15]. Cette stabilité thermique des eaux semble donc caractéristique des lagunes ivoiriennes. Ce constat a également été fait par [16] dans le lac Nokoué au Bénin et [17] dans le système lagunaire de Lomé au Togo. Selon ces auteurs, cette stabilité thermique des eaux est due aux faibles profondeurs des systèmes lagunaires qui favorisent le bon brassage des eaux.

La valeur minimale de température enregistrée dans cette étude est du même ordre de grandeur que celles trouvées en lagunes Aby, Ébrié et Grand-Lahou par [12]. De même que dans les autres lagunes, cette valeur minimale est également enregistrée en petite saison sèche qui correspond à la saison d'upwelling ou période de remontée des eaux froides [18]. Quant aux températures très élevées des eaux lagunaires en grande saison sèche, elles sont le fait de l'insolation car la température d'une eau de surface est étroitement liée aux variations de la température ambiante et aux variations saisonnières [19]. En effet, en période de saison sèche, la température de l'air ambiant est élevée ; ce qui entraîne le réchauffement des couches d'eaux superficielles [18]. Contrairement aux travaux de [12] où les valeurs maximales de température sont en grande saison sèche, la valeur maximale de température dans cette étude est enregistrée en grande saison des pluies. Cela pourrait s'expliquer par les températures chaudes des eaux lagunaires en avril, en début de la grande saison des pluies. Les températures élevées en avril ont également été trouvées en lagune Ébrié par [13].

Les salinités moyennes des eaux lagunaires varient de 0,17 ‰ en petite saison des pluies à 1,65 ‰ en grande saison sèche. Les coefficients de variations de la salinité supérieurs à 100 % sont élevés (Tableau II). Les eaux lagunaires sont plus salines pendant la grande saison sèche. Elles sont plus ou moins douces pendant la petite saison des pluies. Avec des valeurs moyennes comprises entre 0,17 et 1,65 ‰, la lagune Aby est moins saline que les lagunes de Fresco, de Grand-Lahou et Ébrié. En effet, les salinités moyennes des eaux de surface de la lagune Ébrié, de Grand-Lahou et de Fresco sont respectivement 15‰, 13,5 ‰ et 15,69 ‰ [13] ; [20] ; [15] ; [22]. Cette faible salinité de la Lagune Aby est due au fait que sa communication avec l'océan est gênée par des chenaux situés au niveau de l'embouchure [18] ; [23]. Les valeurs élevées des coefficients de variation de la salinité montrent que la lagune Aby est un milieu ouvert. Ce milieu est à la fois sous les influences des apports d'eaux continentales (fluvial et des précipitations) et des apports d'eaux océaniques.

Les conductivités moyennes varient de 621,68 µS/cm en petite saison sèche à 3794,8 µS/cm en grande saison sèche (Tableau II). Les eaux lagunaires ont des conductivités élevées au cours de la grande saison sèche et des conductivités faibles en petite saison sèche. Les coefficients de variation de la conductivité des eaux lagunaires supérieurs à 90 % sont élevés.

Les valeurs moyennes du pH varient de 7,12 en petite saison sèche à 7,87 en grande saison sèche. Les coefficients de variation du pH des eaux lagunaires inférieurs à 11% sont faibles (Tableau II).

Les valeurs moyennes de la transparence varient de 0,43 m en grande saison des pluies à 1,23 m en petite saison sèche (Tableau II). Les eaux lagunaires sont plus transparentes pendant la petite saison sèche et moins transparentes pendant la grande saison des pluies.

Les valeurs maximales de conductivité des eaux lagunaires sont enregistrées en grande saison sèche comme c'est le cas du lac Nokoué au Bénin [24]. En outre, le pH, la conductivité et la transparence montrent des fluctuations saisonnières en relation avec la salinité. En effet, les eaux océaniques sont à l'origine des valeurs élevées du pH, de la conductivité et de la transparence des eaux lagunaires. Ainsi, aux périodes de salinité élevée correspondent des eaux à conductivité élevée, basiques et transparentes et aux périodes de faible salinité, des eaux de faibles conductivités, moins transparentes et faiblement acides.

Les valeurs moyennes de la teneur en oxygène dissous des eaux lagunaires varient de 4,26 mg/L en petite saison des pluies à 6,04 mg/L en grande saison des pluies (Tableau II). Ces teneurs moyennes au cours de la grande saison sèche, de la grande saison des pluies, de la petite saison sèche et de la petite saison des pluies correspondent à 81,65 %, 79,29 %, 73,16% et 55,75 % de saturation respectivement, selon [25]. Les coefficients de variation de la teneur en oxygène dissous inférieurs à 15 % en grande saison sèche et en grande saison des pluies sont faibles. En petite saison sèche et en petite saison des pluies, ces coefficients de variation compris entre 30 et 33 % sont élevés (Tableau II). En ce qui concerne le taux d'oxygène dissous, les valeurs élevées en grande saison sèche et au niveau des stations 7, 8 et 9 (stations sous influence de la Tanoé) peuvent être dues aux brassages des eaux comme l'ont montré [26] en lagune Ébrié et [27] en lagune de Grand-Lahou. En effet, les quantités d'oxygène dissous dépendent aussi des échanges avec l'atmosphère, échanges qui sont favorisés par l'agitation des eaux, elle-même fonction du vent, de la marée et des courants [28]. En grande saison des pluies, le taux en oxygène dissous des eaux lagunaires est sensiblement égal à celui de la grande saison sèche. Il pourrait être dû aux activités photosynthétiques consécutives aux apports de substances nutritives et aux brassages des eaux. L'abaissement du taux d'oxygène dissous des eaux lagunaires au cours de la petite saison sèche comparativement aux saisons précédentes est dû aux remontées d'eaux océaniques profondes pauvres en oxygène [18]. Les coefficients de variation faibles en grande saison sèche et en grande saison des pluies et élevés en petite saison sèche et en petite saison des pluies signifient que les teneurs en oxygène des eaux lagunaires varient très peu en grande saison sèche et en grande saison des pluies. Cependant, leurs variations sont importantes en petite saison sèche et en petite saison des pluies.

## Orthophosphates et Nitrates

Les teneurs moyennes en orthophosphates varient de 0,067 mg/L en grande saison sèche à 0,13 mg/L en grande saison des pluies (Tableau III). Les coefficients de variation supérieurs à 26 % sont élevés. Quant aux nitrates, les valeurs moyennes varient de 0,13 mg/L en petite sèche à 4,64 mg/L en grande saison des pluies. Les coefficients de variation supérieurs à 34% sont élevés (Tableau III). Les sels nutritifs des eaux lagunaires varient en fonction des milieux frontières et des saisons. En effet, selon [29], [30] et [31], les teneurs en éléments majeurs des hydrosystèmes littoraux dépendent en général des échanges avec l'océan et des apports du continent.

**Tableau III:** Moyennes, coefficients de variation, valeurs minimales et valeurs maximales des teneurs en orthophosphates et en nitrates sels nutritifs des eaux lagunaires

		Ortrophosphates (mg/L)	Nitrates (mg/L)
Grande saison sèche	Moy	0,067	1,62
	CV	60,68	55,31
	Min	0,01	0,3
	Max	0,107	3,8
Grande saison des pluies	Moy	0,13	4,64
	CV	29,51	51,86
	Min	0,07	1,7
	Max	0,20	9,2
Petite saison sèche	Moy	0,09	0,13
	CV	74,37	34,76
	Min	0,03	0,08
	Max	0,28	0,23
Petite saison des pluies	Moy	0,069	0,55
	CV	26,43	128,6
	Min	0,04	0
	Max	0,10	2,5

En saisons pluvieuses, les teneurs en sels nutritifs des eaux lagunaires sont plus élevées, comparativement aux saisons sèches. Ce constat a été également fait par **Issola, (2008) et Konan, (2010)** au niveau des lagunes de Fresco et de Grand-Lahou respectivement. Les eaux lagunaires sont donc enrichies en sels nutritifs au cours des saisons pluvieuses. Cet enrichissement serait dû aux eaux de ruissellement des aires agricoles et des zones urbaines. En effet, les rivières forestières en crues, les eaux de ruissellement des aires agricoles et des zones urbaines du fait des précipitations sont les principales sources d'apports de sels nutritifs dans la lagune Aby. Au niveau des aires agricoles, les précipitations entraînent, par ruissellement, les engrais épandus dans les plantations vers les eaux lagunaires. Cet épandage d'engrais se fait en général avant les saisons pluvieuses, précisément en mars-avril pour la grande saison des pluies et en août-septembre pour la petite saison des pluies. En outre, avec le défrichement des forêts, l'érosion s'accélère et la couche d'humus dégradée ne retient plus les éléments nutritifs issus de la pluie et des décompositions végétales. Les premières pluies entraînent le lessivage intense des sols. Aussi, la nature sableuse des sols de la zone côtière et la violence des précipitations augmentent-elles le lessivage des produits phytosanitaires et des fertilisants (**Dufour et al., 1994**). La lagune reçoit donc en saisons pluvieuses des eaux riches en substances nutritives favorables au développement des végétaux. Les crues des rivières forestières amènent également en lagune des eaux qui ont ruisselé sur les espaces majoritairement occupés par des forêts où par des vastes zones de cultures et de sols nus. D'ailleurs, selon **Metongo (1989)**, l'influence océanique étant faible en lagune Aby, l'abondance des sels nutritifs mesurés est essentiellement due aux apports continentaux, atmosphériques et à la minéralisation de la matière organique dans les couches profondes.

### Pesticides Organochlorés

Seize (16) pesticides organochlorés ont été recherchés dans les eaux de la lagune Aby. Ce sont : l'Aldrin, l' $\alpha$  BHC, le  $\beta$  BHC, le  $\delta$  BHC, le Dieldrin, l'Endosulfan I, l'Endosulfan II, l'Endosulfan-Sulfan, l'Endrin, l'Endrin aldéhyde, le  $\gamma$  BHC, l'Heptachlore, l'Heptachlore Epoxy, le 4,4'-DDD, le 4,4'-DDE et 4,4'-DDT. Les figures 3 à 6 montrent leurs variations saisonnières.

En grande saison sèche et en petite saison sèche, tous les pesticides recherchés sont présents dans les eaux lagunaires sauf l'Endosulfan II, en grande saison des pluies l'endosulfan n'est pas présents dans les eaux lagunaires et en petite saison des pluies l'Aldrin et l'Endosulfan ne sont pas détectés dans les eaux lagunaires. Comparativement aux saisons sèches, il y a une forte présence de pesticides dans les eaux lagunaires en saisons pluvieuses notamment en grande saison des pluies. Cette forte présence de pesticides est due aux eaux de ruissellement des aires agricoles et des zones urbaines. La valeur maximale (530  $\mu\text{g/L}$ ) en petite saison sèche pourrait s'expliquer par les rejets d'eaux urbaines. En effet, les rejets d'eaux urbaines et les eaux de drainage des cours d'eau contiennent des pesticides susceptibles de contaminer les eaux côtières comme c'est le cas de la lagune Moulay Bouselham au Maroc (Mehdaoui et al., 2000).

Les teneurs élevées en pesticides des eaux lagunaires en saisons sèches pourraient être également due aux pêcheurs qui utilisent les pesticides pour la pêche comme c'est le cas au Bénin en périodes de basses eaux (Lawani et al, 2017). Les teneurs en pesticides des eaux lagunaires sont plus élevées en saisons des pluies qu'en saisons sèches pourraient s'expliquer par les apports de ces composés via les eaux de ruissellement des zones agricoles et urbaines et les eaux de drainage de la lagune. En effet, selon Lawlitli et al., 2017, l'intensité et la durée des précipitations influencent considérablement les quantités de pesticides transportées par ruissellement.

Les teneurs en pesticides des eaux lagunaires variant de 1 à 530  $\mu\text{g/L}$  sont supérieures aux limites de 0,1 à 0,3  $\mu\text{g/L}$  selon la norme SEQ-EAU (2003).

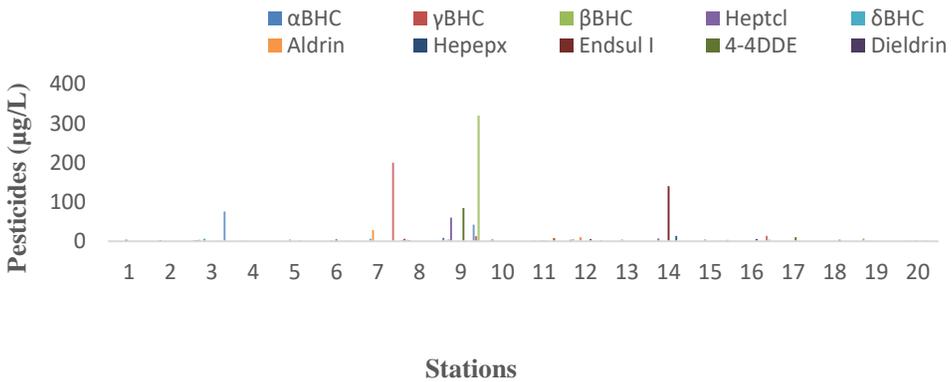
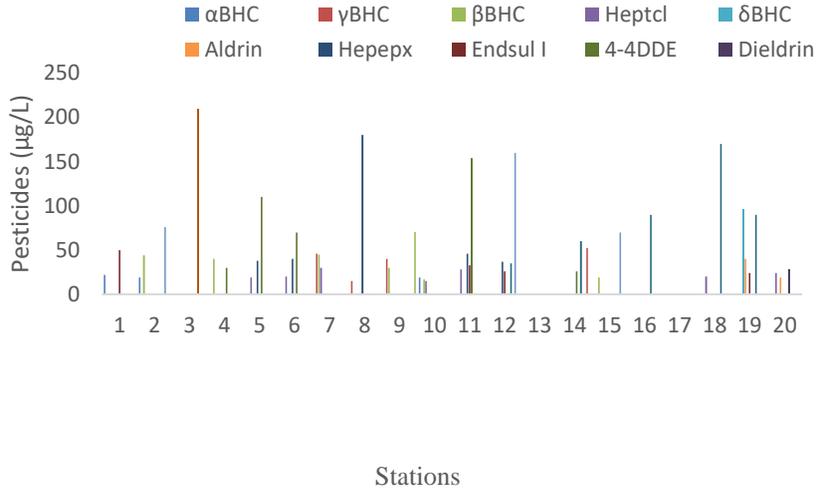
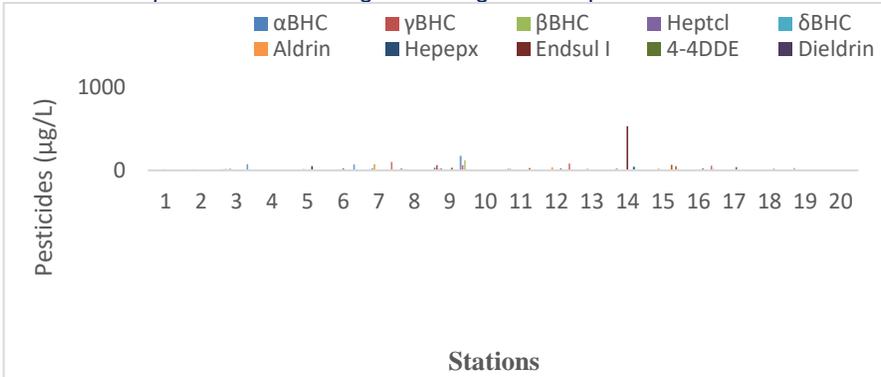


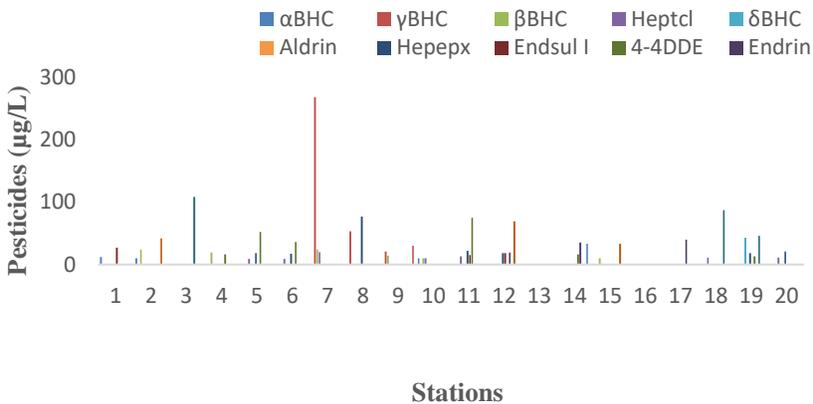
Figure 3 : Teneur en pesticides des eaux lagunaires en grande saison sèche



**Figure 4 :** Teneur en pesticides des eaux lagunaires en grande des pluies



**Figure 5 :** Teneur en pesticides des eaux lagunaires en petite saison sèche



**Figure 6 :** Teneur en pesticides des eaux lagunaires en petite saison des pluies

## Conclusion

Les variations saisonnières de la température et du pH des eaux lagunaires sont faibles. La lagune Aby est moins saline que les lagunes de Fresco, de Grand-Lahou et Ébrié. Tout comme la salinité, les eaux lagunaires sont plus conductrices, plus transparentes en grande saison sèche et très oxygénées en grande saison sèche et en grande saison des pluies. Par contre, l'abondance de sels nutritifs est rencontrée en grande saison des pluies.

La présence de pesticides organochlorés dans les eaux de la lagune Aby indique une contamination récente des eaux lagunaires compte tenu du caractère hydrophobe de ces pesticides. Les pesticides organochlorés sont par conséquent encore utilisés malgré leurs interdictions. Ils parviennent à la lagune à travers les rejets d'eaux usées domestiques, le lessivage des terres agricoles et les eaux de drainage de la lagune. Leur présence dans les eaux de la lagune Aby est une menace pour la qualité écologique de ce milieu et pour la santé des populations compte tenu de leur toxicité et de leur caractère cancérigène. Par conséquent, des mesures doivent être prises afin de faire respecter leur interdiction.

## Références Bibliographiques

- [1] Wang D., Miao X. & Li Q. X., 2008. Analysis of organochlorine pesticides in coral (*Porites evermanni*) samples using accelerated solvent extraction and gas chromatography/ion trap mass spectrometry. *Archives of environmental contamination and toxicology* 54:211-218.
- [2] Bayen S., Thomas G.O., Lee H.K. & Obbard J. P., 2004. Organochlorine pesticides and metals in green mussel, *Perna viridis* in Singapore. *Water, air, and soil pollution* 155 : 103-116.
- [3] Yasuno M., 1995. Long-term biomonitoring of organochlorine and organotin compounds along the coast of Japan by the Japan Environment Agency. *Bioindicators of Environmental Health*, M. Munawar, O. Hanninen, S. Roy, N. Munawar, L. Karenlampi, D. Brown, editors. (New York: SPB Academic Pub.), pp 179-193.
- [4] Bélanger D., 2009. Utilisation de la faune macrobenthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier. Mémoire de maîtrise, 67 p.
- [5] Carvalho F. P. & Hance R. J., 1993. Les pesticides dans les milieux marins tropicaux : Tableau de la situation. *AIEA Bulletin*, 2/1993, pp 14-19.
- [6] Ouffoué K.S., Ahibo A. C., Villeneuve J.P., Sess D.E. & N'guessan Y.T., 2009. Pollution of a tropical lagoon by the determination of organochlorine compounds. *Tropicultura* 27 (2 : 77-82).
- [7] Traoré A., Ahoussi K. E., Aka N., Traoré A. & Soro N., 2015. Niveau de contamination par les pesticides des eaux des lagunes Aghien et Potou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Pure App. Biosci.* 3 (4): 312-322
- [8] Kouakou R., 2017. Contamination par des polluants organiques persistants (hydrocarbures aromatiques polycycliques, polychlorobiphényles et pesticides organochlorés) des sédiments de surface d'une lagune tropicale (Lagune de Grand-Lahou, Côte d'Ivoire). Thèse unique, Université Félix Houphouët-Boigny, 141 p.
- [9] Asseman-Niango S, Kouassi A M, Traoré KS, Dembélé A, Biemi J. 2014. Distribution des ions sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) d tropical à forte influence continentale: lagune Aby, Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 124 (3): 256-273. <https://www.europeanjournalofscientificresearch.com>.
- [10] Malan D. F., Aké Assi L., Tra Bi F. H., Neuba D., 2007. Diversité floristique du parc national des îles Ehotilé (littoral est de la Côte d'Ivoire). *Bois et Forêt des Tropiques*, 2007, N°292 (2). Diversité biologique flore, Côte d'Ivoire, 49-58.
- [11] Koné Y.J.-M., Abril G., Kouadio K.N., Delille B. & Borges A.V., 2009. Seasonal variability of carbon dioxide in the rivers and lagoons of Ivory Coast (West Africa). *Estuaries and Coasts*, 32: 246-260.
- [12] Seu-Anoï N. M., 2012. Structuration spatiale et saisonnière des peuplements

phytoplanctoniques et variabilité des facteurs abiotiques dans trois complexes lagunaires de la Côte d'Ivoire (Aby, Ebrié, Grand-Lahou), Thèse Unique Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, 135 p.

- [13] Kouassi A. M., Tidou A. S., Kamenan A., 2005. Caractéristiques hydrochimiques et microbiologiques des eaux de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) Partie I : Variabilité saisonnière des paramètres hydrochimiques. *Agro. Afr.* ISSN n) 1015-2288, XVII (2) :73-162.
- [14] Issola Y., Kouassi A. M., Dongui B. K. et Biemi J., 2008. « Caractéristiques physico-chimiques d'une lagune côtière tropicale : lagune de Fresco (Côte d'Ivoire) ». *Afrique SCIENCE*, Vol. 4, N°3 (2008), 1 septembre 2008
- [15] Konan K. S., A. M. Kouassi, A. A. Adingra, B. K. Dongui, et D. Gnagri, 2008. «Variations saisonnières des paramètres abiotiques des eaux d'une lagune tropicale :la lagune de Grand-Lahou, Cote d'Ivoire.» (*European Journal of Scientific research*) 21 N° 3, n° ISSN 1450-216X (2008).
- [16] **Mama D., 2010.** Méthodologie et Résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). Thèse Université de Limoges 157 p.
- [17] **Ayah M., Gribos M., Tampo L., Bawa L. M., Bril H. et Djaneye-Boundjou G., 2015.** Qualité et pollution des eaux d'un hydrosystème littoral : cas du système lagunaire de Lomé, Togo. *European Scientific Journal*, May 2015 edition vol. 11, No. 15 ISSN : 1857-7881 (print) e- ISSN 1857-7461.
- [18] Chantraine J.-M., 1980. La lagune Aby (Côte d'Ivoire). Morphologie, Hydrologie, Paramètres physico-chimiques. *Doc. Sei. Centre de Rech. Océanogr. Abicijan*, Vol. XI, (2): 39-77
- 6.Charles-Dominique E., 1993. L'exploitation de la lagune Aby (Côte d'Ivoire) par la pêche artisanale: Dynamique des ressources, de l'exploitation et des pêcheries. Thèse Université Montpellier II, 407 p.

## Le Relation Longueur-Poids et facteur de condition de Oreochromis niloticus et Clarias gariepinus pêchés dans les lacs Katebi et Nzilo dans la Province du Lualaba en République Démocratique du Congo

Paulin Kilufya Kalomo Kitikimo<sup>1</sup>, Clarke Kapalu Kabamba<sup>2</sup>, Irène Kabange Umba<sup>3</sup>

1 Université de Lubumbashi, Ecole de Santé Publique, Unité de Toxicologie et Environnement, Avenue Ndjamenaville de Lubumbashi RDC,

2 Université de Lubumbashi, Faculté d'Agronomie, B.P 1825 RDC,

3 Université de Lubumbashi, Ecole de Santé Publique, Unité de Toxicologie et Environnement, Avenue Ndjamenaville de Lubumbashi RDC,

### Résumé

La République Démocratique est extrêmement riche en minéraux précieux (or, diamants, uranium, niobium, tantale, étain, zinc, coltan et autres), y compris les minéraux essentiels à la transition énergétique (cobalt, lithium, cuivre, nickel). L'exploitation minière nécessaire à cette fin s'accompagne souvent des conséquences écologiques et humaines désastreuses. On assiste aujourd'hui à une relation équivoque entre l'environnement et l'économie. Confrontées, d'une part, à des pressions réglementaires et sociales, exigeant l'adoption des systèmes de dépollution efficaces et, d'autre part, à des contraintes économiques et concurrentielles qui limitent les investissements non productifs, ces entreprises ont souvent une marge de manœuvre très étroite. On assiste ainsi aux déversements massifs des effluents d'origine métallurgique et minière dans la nature, sans traitement préalable, avec pour conséquences la pollution des écosystèmes terrestres et aquatiques, la perte partielle ou totale de la biodiversité, les effets sur la santé humaine, ... La présente étude décrit les relations longueur-poids (RLPs) et les facteurs de condition (K) de l'espèce Oreochromis niloticus dans les lacs Nzilo et Katebi et de Clarias gariepinus dans le lac Nzilo situés dans la province de Lualaba en République Démocratique du Congo. Entre janvier et février 2024, des échantillonnages des poissons ont été achetés chez les pêcheurs de ces deux sites. Les relations Longueur-poids ont été calculées en utilisant l'équation  $Y = axb$  et leurs coefficients de condition en utilisant l'équation  $K = (100P / LSb)$ . Au total, 83 spécimens de Oreochromis niloticus ont été utilisés dont 56 à Nzilo et 27 à Katebi et 5 espèces de à Nzilo dans le cadre de cette étude. Le coefficient d'allométrie b de la relation longueur-poids de Oreochromis niloticus est de 3,149 à Nzilo et de 3,133 à Katebi et le pour le Clarias gariepinus il est de 2,922. Oreochromis niloticus a une croissance allométrique positive dans les deux sites tandis que Clarias gariepinus de Nzilo ont une croissance allométrique négative. Le coefficient de détermination r2 est significatif pour Oreochromis niloticus et est en moyenne de 0,9341 à Nzilo et 0,9228 à Katebi. Quant au coefficient de détermination r2 de Clarias gariepinus est de 0,8132. Le facteur de condition est en moyenne de 1,595 ± 0,289 pour les Tilapia de Nzilo et 1,645 ± 0,295 pour Oreochromis niloticus de Katebi. Quant à Clarias gariepinus de la moyenne de facteur de condition est de 0,6075 ± 0,0898. Le modèle de croissance dans le lac Nzilo comparé à celui du lac Katebi dans le Lualaba explique le niveau avancé de dégradation de ces deux lacs.

**Mots-clés :** Allométrie, facteur de condition, espèces de poisson.

## Length-Weight Relationship and Condition Factor of Oreochromis niloticus and Clarias gariepinus Caught in Lakes Katebi and Nzilo in Lualaba Province, Democratic Republic of Congo

### Abstract:

The Democratic Republic is extremely rich in precious minerals (gold, diamonds, uranium, niobium, tantalum, tin, zinc, coltan and others), including minerals essential to the energy transition (cobalt, lithium, copper, nickel). The mining required for this purpose often has disastrous ecological and human consequences. There is now a mixed relationship between the environment and the economy. Faced with regulatory and societal pressures requiring the adoption of effective pollution control systems, on the one hand, and economic and competitive constraints that limit non-productive investments, on the other, these companies often have very limited scope for action. There are massive discharges of metallurgical and mining effluents into the wild, without prior treatment, resulting in pollution of terrestrial and aquatic ecosystems, partial or total loss of biodiversity, the effects on human health, ...

This study describes the length-to-weight relationships (RLPs) and condition factors (K) of Oreochromis niloticus in Lake Nzilo and Katebi and Clarias gariepinus in Lake Nzilo located in Lualaba province, Democratic Republic of the Congo.

Between January and February 2024, fish samples were purchased from fishermen at these two sites. The length-weight relations were calculated using equation  $Y = axb$  and their condition coefficients using equation  $K = (100P / LSb)$ .

In total, 83 specimens of Oreochromis niloticus were used in this study, including 56 at Nzilo and 27 at Katebi and 5 species of at Nzilo. The allometry coefficient b of the length-weight relation of Oreochromis niloticus is 3.149 in Nzilo and 3.133 in Katebi and for Clarias gariepinus it is 2.922. Oreochromis niloticus has positive allometric growth in both sites while Clarias gariepinus from Nzilo have negative allometric growth. The coefficient of determination r2 is significant for Oreochromis niloticus and averages 0.9341 in Nzilo and 0.9228 in Katebi. The determination coefficient r2 of Clarias gariepinus is 0.8132. The condition factor is on average 1.595 ± 0.289 for Nzilo Oreochromis niloticus and 1.645 ± 0.295 for Katebi Oreochromis niloticus. As for Clarias gariepinus, the mean of the condition factor is 0.6075 ± 0.0898. The growth pattern in Lake Nzilo compared to Lake Katebi in Lualaba explains the advanced level of degradation of these two lakes.

**Key Words:** allometry, condition factor, fish species.

<sup>1</sup> Corresponding author: [paulinkilufya@gmail.com](mailto:paulinkilufya@gmail.com)

## INTRODUCTION

Longtemps épargnés, les écosystèmes aquatiques africains sont à ce jour particulièrement affectés par le développement des activités anthropiques dont les principales sont les suivantes : la déforestation industrielle, les constructions des barrages pour l'électricité, l'irrigation, la surexploitation due à la pêche et les pollutions diverses (Kamdem Toham et Teugels, 1999 ; Paugy et Lévêque, 2017). Les conséquences de ces activités, amplifiées par l'accroissement au jour le jour de la population et une pression de plus en plus forte sur les ressources naturelles, mettent en danger la faune des poissons dans différents hydrosystèmes (Paugy et Lévêque, 2017). La relation longueur-poids (RLPs) est un outil important en biologie, physiologie, écologie et évaluation des stocks de poissons (Bolognini et al., 2013). En effet, cette relation constitue une approche largement utilisée dans la gestion des pêches car elle fournit des informations sur l'état des stocks de poissons dans un écosystème aquatique (Bagenal et Tesch, 1978 ; Hossain et al., 2006). En outre, la RLPs est souvent utilisée par des chercheurs et gestionnaires de la nature pour prédire le poids d'un poisson, connaissant sa longueur, lors de l'appréciation des rendements des pêches (Froese, 2006 ; Froese et al., 2014). Le facteur de condition fournit des informations sur l'état d'embonpoint d'un poisson (Paugy et Lévêque, 2017). Il constitue un instrument souvent utilisé pour comparer l'état physiologique global de populations au cours d'un cycle saisonnier ou entre bassins présentant des conditions écologiques similaires ou différentes (Le Cren, 1951 ; Lizama et Ambrósia, 2002). Largement influencé par les paramètres de l'environnement (biotiques et abiotiques), le facteur de condition peut être utilisé comme un indice pour évaluer le niveau de perturbation d'un écosystème aquatique (Baby et al., 2011).

La République Démocratique est extrêmement riche en minéraux précieux (or, diamant, uranium, niobium, tantale, étain, zinc, coltan et autres), y compris les minéraux essentiels à la transition énergétique (cobalt, lithium, cuivre, nickel). L'exploitation minière nécessaire à cette fin s'accompagne souvent des conséquences écologiques et humaines désastreuses. On assiste aujourd'hui à une relation équivoque entre l'environnement et l'économie. Confrontées, d'une part, à des pressions réglementaires et sociétales, exigeant l'adoption des systèmes de dépollution efficaces et, d'autre part, à des contraintes économiques et concurrentielles qui limitent les investissements non productifs, ces entreprises ont souvent une marge de manœuvre très étroite. On assiste ainsi aux déversements massifs des effluents d'origine métallurgique et minière dans la nature, sans traitement préalable, avec pour conséquences la pollution des écosystèmes terrestres et aquatiques, la perte partielle ou totale de la biodiversité et les effets sur la santé humaine.

La pollution des cours d'eau par les activités minières est un problème environnemental majeur, particulièrement dans les régions à forte exploitation minière. La ville de Kolwezi, située dans la ceinture cuprifère de la République Démocratique du Congo (RDC), en est un exemple typique. Cette région est connue pour l'extraction de minéraux tels que le cuivre et le cobalt, qui contribuent grandement à l'économie du pays mais engendrent des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques. En effet, les rejets miniers contiennent des métaux lourds, des substances chimiques et des sédiments qui se retrouvent dans les cours d'eau, entraînant une dégradation de la qualité de l'eau et un impact direct sur la biodiversité aquatique (Kiala et al., 2020).

Parmi les organismes les plus affectés par cette pollution, les poissons jouent un rôle essentiel en tant qu'indicateurs biologiques de la santé des écosystèmes aquatiques. L'étude de la relation longueur-poids (RLPs) des poissons est une méthode couramment utilisée pour évaluer la condition physique et la santé des populations piscicoles. Cette relation permet non seulement de comprendre l'état de croissance des poissons mais aussi d'identifier les perturbations causées par des stress environnementaux tels que la pollution minière (Froese, 2006). Des études précédentes ont montré que la contamination par les métaux lourds dans les cours d'eau pouvait altérer la croissance des poissons, induisant des anomalies dans cette relation (Ali et al., 2019).

L'objectif de cette étude a été d'évaluer l'impact des polluants miniers sur la relation longueur-poids et les facteurs de condition (K) de l'espèce *Oreochromis niloticus* dans les lacs Nzilo et Katebi et de *Clarias gariepinus* dans le lac Nzilo, situés dans la Province de Lualaba en République Démocratique du Congo.

En utilisant la RLPs comme indicateur, nous visons à déterminer si les poissons de cette région montrent des signes de stress environnemental liés à la pollution minière. De plus, cette étude pourrait fournir des données importantes pour la gestion et la protection des écosystèmes aquatiques affectés par les activités minières.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### Milieu d'étude et stations échantillonnées :

Le lac Nzilo, situé dans la Province de Lualaba en République Démocratique du Congo, est un lac de barrage formé par la construction du barrage Nzilo sur la rivière Lualaba, un affluent majeur du fleuve Congo. Ce réservoir a une superficie d'environ 225 kilomètres carrés et une profondeur variant entre 30 et 40 mètres. Le barrage a été achevé en 1952 pour fournir de l'énergie hydroélectrique aux vastes exploitations minières de cuivre et de cobalt de la région, en particulier à Kolwezi et Likasi, deux villes minières importantes de la ceinture de cuivre de l'ex-Province du Katanga (Tshibangu et Mulamba, 2018). Le lac Nzilo est aussi une ressource pour la pêche locale bien que l'écosystème ait été modifié par l'activité humaine, notamment par la pollution industrielle et la sédimentation causée par les activités minières. La qualité de l'eau a également été affectée par les résidus miniers. Ce qui pose des défis pour l'environnement local et les communautés riveraines (Kabamba, 2019).



Figure. 1: Localisation du Lac Nzilo et Lac Katebi.

### Echantillonnage

Entre janvier et février 2024, des échantillonnages des poissons ont été effectués en achetant auprès des pêcheurs de ces deux sites. Au total, 83 spécimens de *Oreochromis niloticus* ont été utilisés dont 56 à Nzilo et 27 à Katebi ainsi que 5 espèces de *Clarias gariepinus* à Nzilo dans le cadre de cette étude. Tous les échantillons ont été identifiés sur le terrain, les spécimens ont été comptés par espèces, mesurés à 0,01 millimètre près de la Longueur Standard et pesés à 0,01 gramme près à l'aide d'une balance de précision au laboratoire de Toxicologie et Environnement de l'Université de Lubumbashi.

### Analyse des données

#### Détermination de la relation poids-taille

La relation poids-longueur est un paramètre qui permet de vérifier la croissance de la population de poisson. Elle a été établie en utilisant la formule  $Pt = aL^b$ , où  $Pt$  et  $Lt$  représentent respectivement le poids total (g) et la longueur totale (cm) du poisson. Les constantes  $a$  et  $b$  sont déduites après linéarisation de la relation par

transformation logarithmique sous la forme :  $\text{Log}(Pt) = \log(a) \times b \cdot \log(Lt)$  (Lévêque et Paugy, 2006). Les constantes a et b sont respectivement des facteurs caractéristiques du milieu et de l'espèce. Lorsque la valeur de b est égale à 3, la croissance est isométrique. Pour la valeur b supérieure à 3, la croissance est dite allométrique positive. En revanche, une valeur de b inférieure à 3 indique une croissance allométrique négative. Le test t de Student au seuil de 5 % a été effectué pour vérifier si la valeur de b déduite des courbes de régression est différente de 3. Les statistiques de la régression ont été calculées avec le logiciel Excel. La variabilité en fonction des sites de la croissance et du coefficient de condition des poissons a été analysée en utilisant le test t.

#### Détermination du facteur de condition

Le facteur de condition a été déterminé selon la formule suivante :  $K = Pt / Lt^b \times 100$  (Kone et Teugels, 2003) avec Pt et Lt qui sont respectivement le poids total en gramme et la longueur totale en centimètre et b étant déduit de la relation Poids-Taille

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Distribution de la fréquence Longueur et Poids des poissons dans chaque site

Les paramètres a et b de la relation Longueur-Poids ont été présentés dans les Tableaux 1 et 2. Pour le *Oreochromis niloticus*, la longueur a varié entre 9 cm et 20,9 cm avec une moyenne de  $13,14 \pm 2,69$  cm pour le site de Nzilo alors qu'à Katebi, elle était comprise entre 9,4 cm et 24,5 cm avec une moyenne de  $16,04 \pm 3,50$  cm. Quant au poids, il a varié de 9,79 g à 143,64 g avec une moyenne de  $41,31 \pm 28,87$  g à Nzilo et  $12,82$  g à 204,55 g avec une moyenne de  $77,86 \pm 49,97$  g à Katebi. (Tableau 1). Pour le *Clarias gariepinus* de Nzilo, la longueur s'est située entre 18,5 cm et 24,5 cm avec une moyenne de  $22,06 \pm 2,39$  cm tandis que le poids a varié entre 36,04 g et 94,32 g avec un poids moyen de  $66,80 \pm 21,30$  g (Tableau 2). Le poisson le plus long a été observé à Katebi avec une longueur de 24,5 cm et le poisson le plus court a été observé à Nzilo (9 cm). Le poids le plus élevé a été observé à Katebi (204,55 g) et le plus faible à Nzilo (9,79 g). La distribution de la fréquence de la Longueur et Poids des poissons dans chaque site est très intéressante. Il est clair que les poissons de Katebi sont plus grands et ont un poids moyen plus élevé que ceux de Nzilo. Cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Tout d'abord, les conditions environnementales peuvent jouer un rôle important dans la croissance et le développement des poissons. Il est possible que l'environnement de Katebi soit plus favorable que celui de Nzilo, offrant davantage de nourriture et des conditions plus propices à la croissance des poissons. Nzilo recevant les eaux des rivières provenant de la ville de Kolwezi contaminées par les déchets miniers pourrait expliquer cette situation.

Le type de croissance pour le *Clarias gariepinus* de Nzilo a montré une croissance allométrique négative ( $b < 3$ ;  $p < 0,05$ ) se caractérisant par une croissance en longueur plus importante que la croissance en poids. Un résultat similaire a été observé par Konan dans les rivières côtières du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire et Fafioye dans le Lagon d'Epe au Nigeria (Konan, 2007 ; Fafioye, 2005). Cependant, ce résultat est contraire à ceux de Coulibaly qui a travaillé dans la rivière Sourou au Burkina Faso et de Nomwine et al., pour *Clarias anguillaris*, une espèce très proche de *C. gariepinus* dans le lac Bam et le réservoir de la Kompienga au Burkina Faso (Coulibaly, 2008 ; Nomwine et al., 2018). En revanche, les *Oreochromis niloticus* ont montré une croissance allométrique positive ( $b > 3$ ;  $p < 0,05$ ) pour les deux sites. Les valeurs du coefficient d'allométrie (b) observées montrent que la croissance des *Oreochromis niloticus* a été bonne dans les deux sites contrairement à celle de *Clarias gariepinus* de Nzilo. Le coefficient d'allométrie positive pour *Oreochromis niloticus* traduit une croissance en poids plus rapide que la croissance en longueur aussi bien dans le lac Nzilo que dans le lac Katebi. Ce résultat contraste avec ceux observés par Minoungou dans les eaux du réservoir de Samandeni, Hazoume dans la rivière Sô au Bénin et Konan dans les rivières côtières du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire (Minoungou, 2020 ; Hazoume, 2017 ; Konan, 2007). Les normes généralement admises pour le coefficient d'allométrie se situent entre 2,5 et 3,5 (Froese, 2006). Ainsi, les différentes valeurs observées au cours de la présente étude sont donc concordantes avec celles habituellement rapportées et admises par la littérature. Le coefficient d'allométrie est lié à la qualité de l'environnement aquatique (Yakubu et al., 2016). Ainsi on peut déduire que les faibles valeurs du coefficient d'allométrie de *Clarias gariepinus* du lac Nzilo pourraient être dues à l'état de pollution avancée dudit lac.

**Tableau 1: Paramètres de la relation poids-longueur des *Oreochromis niloticus***

Site	Espèce	N	Longueur (cm)			Poids (g)		a	B	Croissance
			Min	Max	Min	Max				
Nzilo	<i>Oreochromis niloticus</i>	56	9	20,9	9,787	143,637	0,0107	3,1496	A*	
Katebi	<i>Oreochromis niloticus</i>	27	9,4	24,5	12,82	204,554	1,921	3,1331	A*	

A+ : allométrie positive; N : effectif de l'échantillon

**Tableau 2: Paramètres de la relation poids-longueur des *Clarias gariepinus***

Site	Espèce	N	Longueur (cm)		Poids (g)		a	B	Croissance
			Min	Max	Min	Max			
Nzilo	<i>Clarias gariepinus</i>	5	18,5	24,5	36,043	94,325	0,0077	2,9222	A*

A- : Allométrie négative ; N : effectif de l'échantillon

Le facteur de condition de *Oreochromis niloticus* des lacs Katebi et Nzilo avoisine 1 ce resultat est similaire à celui trouvé par Gasto et al. (2017). Le facteur de condition de *Oreochromis niloticus* du lac Katebi est légèrement supérieur à celui du Lac Nzilo. Néanmoins, le *Clarias gariepinus* de Nzilo a un facteur de condition inférieur à 1. La faible valeur du facteur de condition observé chez *Clarias gariepinus* a été rapportée par Nomwine et al. (2018) pour *Clarias anguillari*, par Gasto et al. dans la rivière Wudil, Kano, Nigeria et Chikou (Gasto et al., 2017; Chikou et al., 2008) dans la vallée de l'Ouémé pour *Clarias gariepinus* (Nomwine et al., 2018; Chikou et al., 2008). Ces auteurs soulignent que les réserves sont investies dans l'élaboration des produits sexuels et que le développement des gonades qui comprime de plus en plus le tractus digestif du poisson peut faire baisser le facteur de condition. Des faibles valeurs observées pourraient s'expliquer par la reproduction qui se produit pendant la saison de pluie, période au cours de laquelle la présente étude a été conduite. Aussi le mode de vie pourrait expliquer cette situation, le *Clarias* étant carnivore (effet de bioamplification), vivant dans le fond au contact des sédiments et qui, durant la période de reproduction, migre vers les frayères (marécages) qui sont des déversoirs des effluents miniers et est fortement exposé à la pollution du milieu. En revanche, le *Oreochromis niloticus* qui est un poisson pélagique et détritivore est moins exposé à cette pollution.

**Tableau 3 : Equation de la régression poids-longueur et facteur de condition K**

Site	Espèce	N	Equation de Regression	R <sup>2</sup>	Facteur de condition K	
					Moyenne	Ecart-Type
Nzilo	<i>Oreochromis niloticus</i>	56	$P=0,0107L^{3,1496}$	0,9341	1,595	0,2887
Katebi	<i>Oreochromis niloticus</i>	27	$P=0,0112L^{3,1331}$	0,9228	1,645	0,295

P : Poids Total ; L : Longueur Total, N : effectif échantillon R<sup>2</sup> : Coefficient de corrélation

**Tableau 4 : Equation de la régression poids-longueur et facteur de condition K pour le *Clarias***

Site	Espèce	N	Equation de Regression	R <sup>2</sup>	Facteur de condition K	
					Moyenne	Ecart-Type
Nzilo	<i>Clarias gariepinus</i>	5	$P=0,0077L^{2,9222}$	0,8132	0,60754426	0,08981471

P : Poids Total ; L : Longueur Total, N : effectif échantillon R<sup>2</sup> : Coefficient de corrélation.

## CONCLUSION

Cette étude fournit les premières informations de base sur les paramètres de longueur et de poids ainsi que sur les facteurs de condition de deux espèces de poissons des lacs Nzilo et Katebi. L'étude de la relation longueur-poids de *Oreochromis niloticus* et de *C. gariepinus* montre que la croissance des populations de ces deux espèces des lacs Nzilo et Katebi est très perturbée. Le coefficient moyen de condition de *Oreochromis niloticus* est supérieur à 1 tandis que celui de *Clarias gariepinus* est inférieur à 1, indiquant ainsi les conditions difficiles dans lesquelles évoluent les deux poissons susmentionnés. Ce qui est à la base de l'impact négatif sur la croissance des poissons et démontre à suffisance que les poissons auraient accumulé des métaux toxiques. Cette bioaccumulation menace la sécurité alimentaire et expose les populations consommatrices desdits poissons à des problèmes de santé.

En attendant que des études plus approfondies soient menées en standardisant davantage l'échantillonnage et en prenant en compte les saisons avant de pouvoir faire des déductions supplémentaires, il est crucial de réhabiliter les lacs Nzilo et Katebi qui s'avèrent très pollués et menacés de plus en plus tant par la pression anthropique que par l'exploitation minière.

## CONFLITS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt.

## Références

- [1] Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. :2019. Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881.
- [2] Baby F, Tharian J, Abraham KM, Ramprasanth MR, Ali A. & Ranghavan R: 2011. Length-weight relationship and condition factor of an endemic stone sucker, *Garra gotyla stenorhynchus* (Jerdon, 1849) from two opposite flowing rivers in southern Western Ghats. *Journal of threatened taxa* 3(6): 1851–1855.
- [3] Bagenal TB. & Tesch AT: 1978. *Conditions and Growth Patterns in Fresh Water Habitats*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 75–89.
- [4] Bolognini L, Domenichetti F, Grati F, Polidori P, Scarcella G. & Fabi G : 2013. Weight-Length Relationships for 20 Fish Species in the Adriatic Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 13: 555–560.
- [5] Chikou A, Laleye PA, Raemakers V, Philippart VJ : 2008. Etude de l'âge et de la croissance chez *Clarias gariepinus* (Pisces, Clariidae) dans le delta de l'Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 2(2) : 157-167.
- [6] Coulibaly ND. :2008. Relation longueur-poids chez quatre espèces de poissons de la rivière Sourou au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 2(3), pp. 331–338.
- [7] Fafioye, OO, Oluajo OA. :2005. Length-weight relationships for 10 pelagic fish species from the relationships of five fish species in Epe Lagoon, Adriatic Sea. (Crotia). *J. Appl. Ichthyol*, 20: 156-158. *Nigeria. Afr. J. Biotechnol.*; 4:749-751.
- [8] Froese, R. :2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 241-253.
- [9] Froese R, Thorson JT, and Reyes Jr. RB. : 2014. A Bayesian approach for estimating length- weight relationships in fishes. *Journal of Applied Ichthyology*, 30(1), 78-85.
- [10] Gasto B.U, Abdoullahi J.M. and Yola I.A.: 2017. *Agro-science journal of Tropical Agriculture, Food, Environment and Extension* Volume 16 Number 1 pp 1-4.
- [11] Hazoume RUS, Chikou A, Koudenoukpo C, Adite A, Bonou CA, Mensah GA. :2017. Length-weight relationships of 30 species of fish of the river Sô in Benin (West Africa). *International Journal of Fisheries and Aquaculture Studies*, 5(3): 514-519.
- [12] Hossain MY, Ahmed ZF, Leunda PM, Jasmine S, Oscoz J, Miranda R. & Ohtomi J : 2006. Condition, length-weight and length-length relationships of the Asian striped catfish *Mystus vittatus* (Bloch, 1794) (Siluriformes: Bagridae) in the Mathabhangra River, Southwestern Bangladesh. *Journal of Applied Ichthyology* 22 : 304-307.
- [13] Kabamba, P. :2019. *Gestion des ressources en eau et impacts environnementaux dans la région du Katanga*. Éditions Universitaires Africaines.
- [14] Kamdem Toham A. & Teugels GG: 1999. First data on an index of biotic integrity (IBI) based on first assemblages for the assessment of the impact of the deforestation in a tropical West African river system. *Hydrobiologia* 397: 29–38.
- [15] Kiala, Z., Kalenga, M., & Masango, S. :2020. Environmental impacts of mining in the Katanga region of the Democratic Republic of Congo. *Journal of Environmental Management*, 256, 109963.
- [16] Konan KF, Ouattara A, Ouattara M. & Gourène G: 2007. Weight-length relationship of 57 fish species of the coastal rivers in South-Eastern of IvoryCoast. *Ribarstvo* 65 (2): 49–60.
- [17] Le Cren ED. :1951. The length-weight relationships and seasonal cycle in gonad weight and condition in perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 20 (2): 201 – 219.
- [18] Lizama MAP. & Ambrósia AM: 2002. Condition factor in nine species of fish of the Characidae family in the upper Paraná River floodplain. *Brazilian Journal of Biology* 62(1): 113–124.
- [19] Minoungou M, Ouedraogo R, Nomwine DA, Ouéda A.: 2020. Relation longueur-poids et facteur de condition de sept espèces de poisson du réservoir de samandi avant son ouverture à la pêche (Burkina Faso) *J. Appl. Biosc.* 151: 15559 - 15572
- [20] Nomwine DA, Ouédraogo R., et Ouéda A. : 2018. Relation poids-longueur et facteur de condition de *Clarias anguillaris* et *Sarotherodon galilaeus* pêché dans le lac Bam et le réservoir de la Komienga au Burkina Faso. *Inst. J. Biol. Chem. Sci.* 12(4) :1601-1610.
- [21] Paugy D. & Leveque C: 2017. Impacts of human activities. In: Paugy D, Leveque C. & Otero O. (eds): *The inland water fishes of Africa: Diversity, Ecology and Human use*, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Royal Museum for Central Africa (RMCA): 459–478.
- [22] Teugels GG. :1996. Taxonomy, phylogeny and biogeography of catfishes (Ostariophysi, Siluroidei): an overview. *Aquat. Living Resour.* 9(Hors série): 9-34
- [23] Tshibangu, K., & Mulamba, M. :2018. L'impact des barrages hydroélectriques sur les écosystèmes en Afrique centrale. *Revue Scientifique du Katanga*, 45(3), 123-135.
- [24] Yakubu YI, Oluranti BN, Ewutanure J, Rilwan U. :2016. Food Habit and Growth Pattern of *Oreochromis niloticus* in Wase Dam, Nigeria. *Nature and Science*, 14(12)

## Etude comparative d'un lessivage de sols salés sulfatés acides en milieux contrôlés

Adolphe Diatta<sup>1,2</sup>, Moustapha Diene<sup>4</sup>, Didier Maria Dione<sup>2</sup>, Issa Leye<sup>2</sup>, Moussé Landing Sane<sup>2</sup>, Daouda Badiane<sup>1</sup>,  
Baba Sarr<sup>3</sup>, Soussou Sambou<sup>2</sup>, Saïdou Moustapha Sall<sup>1</sup>

1 Université Cheikh Anta Diop de Dakar – UCAD, Ecole Supérieure Polytechnique – ESP, Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan Siméon Fongang – LPAO / SF, Sénégal

2 Université Cheikh Anta Diop de Dakar – UCAD, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Physique, Laboratoire d'Hydraulique et Mécanique des Fluides – LHMF, Sénégal

3 Université Cheikh Anta Diop de Dakar – UCAD, Institut Fondamental de l'Afrique Noire – IFAN, Laboratoire de Géologie, Sénégal

4 Université Cheikh Anta Diop de Dakar – UCAD, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Laboratoire d'Hydrogéologie, Sénégal

### Résumé

Dans le cadre de la lutte contre la salinisation et l'acidification des basses terres côtières Sénégalaises, plusieurs méthodes sont mises en œuvre parmi lesquelles la construction de barrages et digues anti-sels utilisant des techniques modernes, traditionnelles diolas ou mixtes. Cependant, peu de travaux s'intéressent à leur efficacité réelle dans les processus de récupération des sols contaminés. L'objectif de ce papier est de présenter une étude comparative de l'efficacité des ouvrages modernes et traditionnels diolas dans les processus de lessivage des sols salés sulfatés acides sénégalais en milieu contrôlé. Ainsi, un dispositif expérimental a été construit à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Il est constitué de trois bacs. Le premier est un bac témoin, tandis que le second et le troisième simulent respectivement le fonctionnement des ouvrages traditionnels diolas et modernes. Ces bacs sont remplis d'échantillons de sols issus des « tannes » vijs de Fayil (département de Fatick). L'expérience consiste à lessiver les échantillons de sols des bacs 2 et 3 par vidanges et renouvellements jusqu'à ce que la conductivité électrique à 50 cm de profondeur soit inférieure à 4 mS/cm dans un bac. Après quatre vidanges et renouvellements, la conductivité électrique est passée de 15,27 mS/cm à 4,04 mS/cm et de 17,30 mS/cm à 11,17 mS/cm dans les Bac 2 et 3 respectivement. Il résulte de ces résultats que les ouvrages traditionnels diolas sont plus performants que ceux modernes dans les processus de récupération des sols salés sulfatés acides du pays.

**Mots-clés :** barrages anti-sel, salinisation, acidification, bas-fonds, récupération

## Comparative study of leaching acid sulfate salty soils in controlled environments

### Abstract:

In the framework of the resilience to the Senegalese's coastal lowlands salinization and acidification, several methods are implemented including the construction of anti-salt dams and dykes using modern, traditional diola or mixed techniques. However, few works have been carried out on their real effectiveness in the contaminated soils' recovery process. This paper's objective is to present a comparative study on the effectiveness of modern and diola traditional works in the process of leaching the country's acid sulphate salty soils in a controlled environment. Thus, an experimental device was built at Cheikh Anta Diop University of Dakar. It is consisted of three tanks. The first one is a control tank, while the second and the third simulate respectively the functioning of the traditional Diola and the modern works. These tanks are filled with soil samples taken from the acid sulphate salty soils of Fayil (Fatick's department). The experience consists to leach the soil samples of tanks 2 and 3 by emptying and renewals water until the electrical conductivity becomes lower than 4 mS/cm at 50 cm depth in one tank. The results obtained after four emptying and renewals show that the electrical conductivity passed from 15,27 mS/cm to 4,04 mS/cm and 17,30 mS/cm to 11,17 mS/cm in tank 2 and 3 respectively. It follows from these results that traditional Diola structures are more efficient than modern ones in the process of recovery the country's acid sulphate salty soils..

**Key Words:** anti-salt dams, salinization, acidification, lowlands, recovery

<sup>1</sup> Corresponding author: [dadhit69@yahoo.fr](mailto:dadhit69@yahoo.fr)

## INTRODUCTION

Avec 9 404 475 Ha de terres disponibles pour l'agriculture ([1]), le Sénégal a 1 700 000 Ha de terres salées dont 660 000 Ha de sols salés sulfatés acides ([2]). De vastes étendues de basses terres stériles nues « tannes vifs » ou colonisées par des herbes halophiles jalonnent ses 700 km de côtes atlantiques. Leurs origines seraient antérieures à 1500 ans BP et leur extension correspondrait à un climat tropical devenant plus sec ([3]). Ce processus se poursuit de nos jours et est de surcroît favorisé par les activités anthropiques ([3]), mais aussi les sécheresses des années 1910, 1970 et 1980, les irrégularités pluviométriques des années 1990 et les changements climatiques en cours. Ces bas-fonds jadis exploités par les paysans pour cultiver du riz sont de plus en plus abandonnés au profit des plateaux, entraînant leur déforestation, l'appauvrissement de leurs sols, leur érosion hydrique et le comblement des lits mineurs des cours d'eau. Afin de lutter contre cette contrainte naturelle au développement agricole d'une importante partie du pays, plusieurs techniques allant des méthodes mécaniques (barrages et digues anti-sel) ([3],[4], [5], [6], [7], [8], [9]), chimiques ([10], [11]), agronomiques ([11]), biologiques ([11],[12],[14]) et biomécaniques ([11], [13], [15]), mais aussi la synthèse et la sélection dans les laboratoires nationaux (ISRA), sous – régionaux et internationaux d'espèces végétales tolérantes à la salinité et à l'acidité des sols ([16], [17]) sont mises en œuvre. Ainsi, depuis la période coloniale, d'importants programmes de construction de barrages et digues anti-sel modernes sont exécutés dans différentes vallées du Sine – Saloum et de la Casamance naturelle pour lutter contre leur salinisation ([6],[7],[18], [19], [20], [21]). Ils sont généralement constitués d'une digue en remblai d'apport et d'un ouvrage en béton (déversoir) pour évacuer les eaux excédentaires. Ce déversoir est généralement équipé de batardeaux ou de vannes murales à déplacement vertical pour la régulation et la vidange de la retenue. Leur principe de lessivage des sols contaminés consiste à accumuler en amont de la digue de l'eau douce de pluie (moins riche en ions) pour permettre la diffusion des solutés mobiles de la solution du sol ([23]) et de la nappe phréatique sous-jacente ([2]) et les évacuer par vidanges de la retenue. A côté de ces ouvrages modernes, les paysans diolas construisent des barrages et digues anti-sel traditionnels depuis des siècles ([22]). Ces ouvrages sont constitués d'une digue en remblai de terre prélevé localement. Ils ne sont pas équipés de déversoir seuil, mais de drains de troncs de rôniers ou de palmiers perforés pour la régulation et la vidange de la retenue. Leur principe de fonctionnement est identique à celui des ouvrages modernes. Cependant, la tranchée d'emprunt du remblai de la digue joue aussi le rôle de collecteur des eaux souterraines et permet de drainer pendant les vidanges de la retenue les ions métalliques lourds très souvent chélatés et victimes des barrières anti-osmotiques. Peu d'études s'intéressent à l'efficacité de ces ouvrages anti-sel dans les processus de récupération des sols salés sulfatés acides du pays. L'objet du présent papier est de déterminer les performances des barrages et digues anti-sel modernes et traditionnels diolas dans les processus de récupération des sols salés sulfatés acides des zones arides, semi-arides et subhumides sèches du Sénégal.

## OUTILS ET METHODOLOGIE

### Outils

Un dispositif expérimental polyvalent en maçonnerie (Figures 1 et 2) a été construit au laboratoire d'Hydraulique et de Mécanique des Fluides de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Il est un ouvrage de génie civil de dimensions extérieures 5,40 m x 2,50 m x 1,10 m divisé en trois grands bacs de dimensions intérieures 2,06 m x 1,20 m x 0,96 m et trois autres plus petits de dimensions intérieures 0,54 m x 0,50 m x 0,70 m. Les surfaces intérieures ont été rendues étanches avant d'être carrelées.

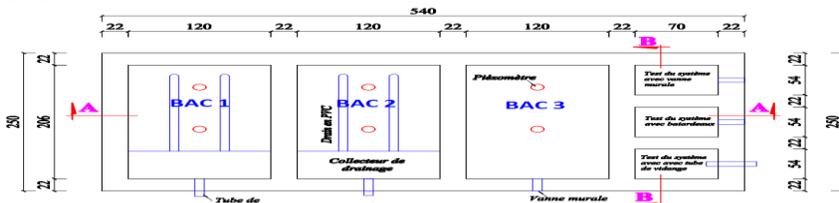
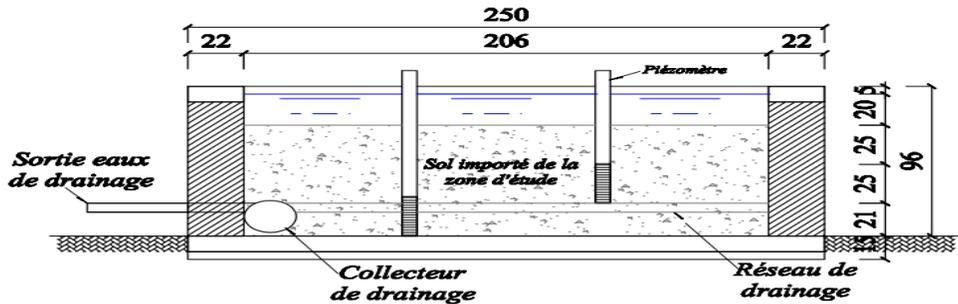


Fig. 1 : Vue de dessus du dispositif expérimental

Les présentes investigations ont été réalisées avec les trois grands bacs (Figures 1 et 2). Ceux-ci sont tous équipés de deux piézomètres en PVC DE125, ASS dont les crépines sont respectivement positionnées entre 20 - 30 cm et 45 – 55 cm pour faciliter le prélèvement d'échantillons d'eau profonde et suivre le niveau de l'eau dans les bacs.



**Fig. 2 : Illustration des piézomètres du dispositif expérimental**

En sus, les Bacs 1 et 2 sont équipés chacun d'un réseau de drainage et d'un orifice long en PVC DE25, PN6 pour l'évacuation des eaux de lessivage. Le réseau de drainage est constitué de deux drains en PVC DE63, ASS et d'un collecteur en PVC DE110, ASS. Il est posé à 21 cm du fond des bacs. En outre le Bac 3 est équipé d'une vanne murale pour l'évacuation des eaux de lessivage. Les trois bacs sont alimentés par le réseau de distribution d'eau potable de la ville de Dakar, via une conduite en PEHD DE25, PN6. Les Bacs 2 et 3 simulent respectivement le fonctionnement des barrages et digues anti-sel traditionnels diolas et modernes ; tandis que le Bac N1 est un bac témoin.

Outre le dispositif expérimental, le matériel utilisé pour mener l'expérience est aussi composé d'un pH-mètre électronique de marque Littro PH-206, d'un conductivimètre électronique de marque HACH CO150, de deux pots d'échantillonnage, de deux béciers de 500 ml et d'un dispositif de prélèvement d'échantillons d'eau dans les piézomètres constitué d'un pot et d'une corde.

#### Mode opératoire

L'expérience consistait à prélever des échantillons de sols dans la partie aval du barrage anti-sel N°3 de Fayil (département de Fatick, commune de Diouroup – Coordonnées géographiques : 14°18'24"N et 16°27'56"O) (Figures 3 et 4) et de les transférer à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, pour remplir les trois bacs expérimentaux jusqu'à 25 cm de la surface libre supérieure des murs. Après cette opération, il est procédé à la mise en eau des bacs jusqu'à ce que la hauteur de la lame d'eau au-dessus de l'échantillon de sol soit égale à 20 cm.



**Fig. 3 : Illustration de la zone de prélèvement des échantillons de sols**

Ensuite, dans un premier temps, l'eau des Bacs 2 et 3 est vidée en moyenne tous les quatre à cinq jours et renouvelée le lendemain pour permettre la pénétration de l'oxygène atmosphérique dans la solution de sol et l'oxydation de la pyrite ; tandis que l'eau du Bac 1 ne fait pas l'objet de vidange. Des apports d'eau y sont toujours effectués pour compenser les pertes par évaporation et évapotranspiration. Après chaque renouvellement d'eau, la conductivité électrique, le pH et la température de l'eau de surface et des

piézomètres est mesurée quotidiennement toutes les heures de 08h30 à 17h30 sans dilution afin de réduire l'influence des paramètres de l'eau de robinet. Les mesures sont répétées trois fois avant de passer au bac suivant. Dès que la conductivité électrique à une profondeur de 50 cm est inférieure à 4 mS/cm dans un des bacs, les vidanges, renouvellements et compensations d'eau sont suspendus et la périodicité de mesure des paramètres est en moyenne d'une semaine.

### RESULTATS OBTENUS

Lors de la première mise en eau du dispositif expérimental le 25 avril 2019, un incident s'était produit. Des fuites d'eau ont été notées au niveau des raccordements des orifices longs de drainage des Bacs 1 et 2. Il a fallu procéder à une vidange d'urgence des deux bacs, à leur réparation et leur remise en eau le 01 mai 2019. En sus, lors de la remise en eau des deux bacs, les pertes d'eau (évaporation & évapotranspiration) dans le Bac 3 ont été compensées.

#### **Profils de la conductivité électrique et du pH les 02 et 29 mai et 08 et 15 juin 2019**

Les résultats des profils de la conductivité électrique et du pH les 02 et 29 mai et 08 et 15 juin 2019 au début sont résumés dans le tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1 : Récapitulatif des profils de la conductivité électrique et du pH des 02 et 29 mai et 08 et 15 juin 2019**

Date	Prof. (cm)	pH			CE (mS/cm)			Température (°C)		
		Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 1	Bac 2	Bac 3
02/05/2019	00	9,04	8,90	8,63	1,02	1,01	5,46	28,2	28,8	28,5
02/05/2019	25	9,05	8,29	8,56	6,08	6,36	10,49	26,5	27,1	26,9
02/05/2019	50	8,28	7,74	8,74	13,79	15,27	17,30	26,7	27,5	26,9
29/05/2019	00	6,26	6,25	6,24	1,38	0,81	0,78	32,7	31,1	31,5
29/05/2019	25	6,10	6,14	6,10	3,67	1,01	2,40	30,7	30,0	30,1
29/05/2019	50	6,04	6,04	5,91	7,20	3,63	11,27	30,1	29,2	29,6
08/06/2019	00	6,24	6,20	6,20	1,66	0,89	0,95	31,6	29,2	29,7
08/06/2019	25	6,07	6,08	6,00	4,24	1,62	6,02	28,6	28,0	28,3
08/06/2019	50	6,06	6,08	5,94	7,12	4,17	11,17	27,5	27,8	28,2
15/06/2019	00	6,31	6,32	6,32	3,65	1,42	1,60	32,27	31,4	32,3
15/06/2019	25	6,21	6,23	6,10	4,24	1,62	6,02	30,8	30,3	30,1
15/06/2019	50	6,15	6,14	5,98	6,28	4,49	11,07	29,50	28,8	29,2

#### **Résultats du lessivage des échantillons de sols à 00 cm**

Les valeurs moyennes journalières du pH, de la conductivité électrique et de la température mesurés dans les Bacs 1, 2 et 3 à 00 cm de profondeur sont résumés dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Récapitulatif des résultats de lessivage des échantillons de sols à la profondeur z = 00 cm**

Date	Prof. (cm)	pH			CE (mS/cm)			Température (°C)		
		Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 1	Bac 2	Bac 3
02/05/2019	00	9.04	8.90	8.63	1,02	1,01	5,46	28,2	28,8	28,5
03/05/2019	00	8.15	8.24	8.05	0,88	1,36	6,43	29,6	29,4	29,5
04/05/2019	00	6.90	6.86	6.80	1,71	2,48	6,41	30,3	28,6	28,7
05/05/2019	00	6.84	6.83	6.89	0,96	1,20	4,86	29,5	29,9	29,7
06/05/2019	00	6.94	7.07	7.17	1,40	1,30	4,34	31,1	31,7	32,2
07/05/2019	00									
08/05/2019	00									
09/05/2019	00	7.40	7.62	7.47	2,75	0,57	0,66	33,2	34,0	34,4
10/05/2019	00	7.66	7.82	7.59	1,63	0,51	0,73	32,8	32,0	33,4
11/05/2019	00	7.62	7.94	7.64	2,01	0,51	0,73	32,8	31,9	32,4
12/05/2019	00	7.53	7.86	7.57	2,64	0,61	0,87	31,6	31,4	31,9
13/05/2019	00									
14/05/2019	00									
15/05/2019	00	7.02	7.23	7.08	3,64	0,50	0,55	32,7	31,1	30,1
16/05/2019	00	6.46	6.71	6.62	4,61	0,46	0,61	31,5	29,1	29,6
17/05/2019	00	6.50	6.68	6.59	2,68	0,52	0,66	31,9	30,5	30,4
18/05/2019	00	6.47	6.56	6.48	2,91	0,63	0,68	31,5	31,4	31,1
19/05/2019	00									
20/05/2019	00									
21/05/2019	00	7.53	7.51	7.49	0,64	0,59	0,66	32,2	31,3	31,0
22/05/2019	00	7.29	7.29	7.27	0,76	0,60	0,69	29,2	26,8	26,7
23/05/2019	00	6.50	6.50	6.46	0,90	0,63	0,74	31,1	30,9	29,9
24/05/2019	00	6.49	6.50	6.49	1,00	0,67	0,68	31,7	31,2	30,8
25/05/2019	00									
26/05/2019	00									
27/05/2019	00	6.23	6.22	6.23	1,14	0,69	0,80	30,2	29,9	29,8
28/05/2019	00	6.16	6.18	6.16	1,24	0,75	0,82	31,4	31,0	29,7
29/05/2019	00	6.26	6.25	6.24	1,38	0,81	0,78	32,7	31,1	31,5
08/06/2019	00	6.24	6.20	6.20	1,66	0,89	0,95	31,60	29,20	29,70
15/06/2019	00	6.31	6.32	6.32	3,65	1,42	1,60	32,27	31,4	32,3
<b>Moyenne algébrique</b>		<b>6,98</b>	<b>7,06</b>	<b>6,97</b>	<b>1,87</b>	<b>0,85</b>	<b>1,85</b>	<b>31,32</b>	<b>30,57</b>	<b>30,60</b>
<b>Ecart type</b>		<b>0,1569</b>	<b>0,1614</b>	<b>0,1439</b>	<b>0,2346</b>	<b>0,1002</b>	<b>97,9689</b>	<b>0,2828</b>	<b>0,3231</b>	<b>0,3699</b>
<b>Variance</b>		<b>0,0246</b>	<b>0,0260</b>	<b>0,0207</b>	<b>0,0550</b>	<b>0,0100</b>	<b>9 597,9</b>	<b>0,0800</b>	<b>0,1044</b>	<b>0,1368</b>
<b>Moment centré d'ordre 3</b>		<b>0,0188</b>	<b>0,0137</b>	<b>0,0095</b>	<b>0,0576</b>	<b>0,0097</b>	<b>0,5571</b>	<b>(0,0722)</b>	<b>(0,0539)</b>	<b>0,0300</b>

**Résultats du lessivage des échantillons de sols à 50 cm**

Les valeurs moyennes journalières du pH, de la conductivité électrique et de la température mesurés dans les Bacs 1, 2 et 3 à 50 cm de profondeur sont résumés dans le tableau 3.

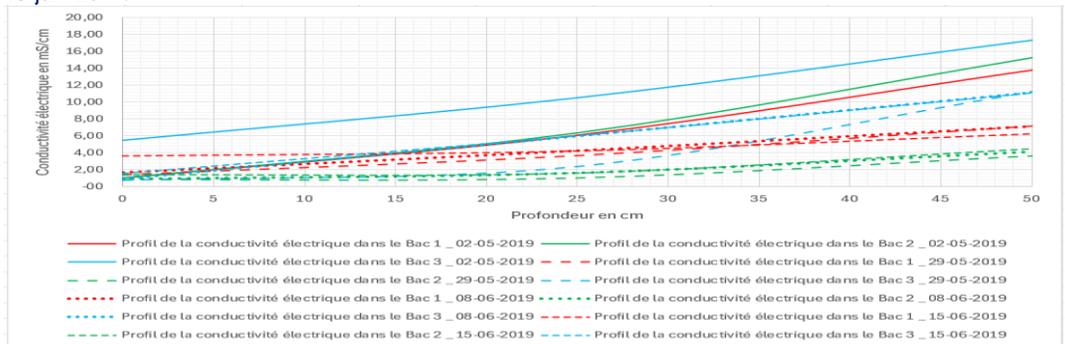
**Tableau 3 : Récapitulatif des résultats de lessivage des échantillons de sols à la profondeur z = 50 cm**

Date	Prof. (cm)	pH			CE (mS/cm)			Température (°C)		
		Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 1	Bac 2	Bac 3
02/05/2019	50	8,28	7,74	8,74	13,79	15,27	17,30	26,7	27,5	26,9
03/05/2019	50	7,82	7,49	7,90	12,76	14,26	19,32	27,1	28,1	27,9
04/05/2019	50	5,86	6,42	6,58	12,67	13,45	20,84	26,8	27,3	25,5
05/05/2019	50	6,60	6,38	6,50	12,95	12,87	20,68	28,1	28,3	28,7
06/05/2019	50	6,70	6,26	6,37	12,91	12,46	20,18	29,2	30,2	29,7
07/05/2019	50									
08/05/2019	50									
09/05/2019	50	6,74	5,82	6,32	13,02	11,37	19,82	31,6	31,3	31,8
10/05/2019	50	6,78	5,86	6,30	12,90	11,31	18,98	29,8	30,1	30,3
11/05/2019	50	6,66	5,85	6,31	12,14	10,72	17,89	29,8	29,9	30,5
12/05/2019	50	6,75	6,20	6,36	11,39	9,62	16,86	29,0	29,1	29,6
13/05/2019	50									
14/05/2019	50									
15/05/2019	50	5,74	6,24	6,34	10,28	4,49	15,47	28,7	29,1	29,6
16/05/2019	50	5,27	6,15	6,15	9,75	4,69	14,89	27,5	28,3	28,7
17/05/2019	50	6,40	6,29	6,27	8,96	4,58	14,06	27,2	28,6	28,9
18/05/2019	50	6,22	6,13	6,13	8,90	4,52	13,84	26,9	28,7	27,8
19/05/2019	50									
20/05/2019	50									
21/05/2019	50	7,33	7,26	7,24	8,53	4,40	12,63	29,8	29,9	30,1
22/05/2019	50	7,13	7,07	7,04	5,53	4,20	12,36	27,4	25,9	26,3
23/05/2019	50	6,33	6,29	5,43	8,02	4,16	10,70	29,5	28,7	28,0
24/05/2019	50	6,30	6,26	6,22	7,68	4,04	12,00	29,4	29,1	29,2
25/05/2019	50									
26/05/2019	50									
27/05/2019	50	6,06	6,01	5,97	7,29	3,88	11,87	28,3	28,5	28,2
28/05/2019	50	6,00	5,96	5,91	7,29	3,68	11,53	29,0	29,2	28,1
29/05/2019	50	6,04	6,04	5,91	7,20	3,63	11,27	30,1	29,2	29,6
08/06/2019	50	6,06	6,08	5,94	7,12	4,17	11,17	27,5	27,8	28,2
15/06/2019	50	6,15	6,14	5,98	6,28	4,49	11,07	29,5	28,8	29,2
<b>Moyenne algébrique</b>		<b>6,51</b>	<b>6,36</b>	<b>6,45</b>	<b>9,88</b>	<b>7,56</b>	<b>15,22</b>	<b>28,58</b>	<b>28,80</b>	<b>28,76</b>
<b>Ecart type</b>		<b>0,1439</b>	<b>0,1126</b>	<b>0,1512</b>	<b>0,5263</b>	<b>0,8816</b>	<b>0,7234</b>	<b>1,9003</b>	<b>1,9099</b>	<b>1,9166</b>
<b>Variance</b>		<b>0,0207</b>	<b>0,0127</b>	<b>0,0228</b>	<b>0,2770</b>	<b>0,7773</b>	<b>0,5234</b>	<b>3,6111</b>	<b>3,6478</b>	<b>3,6733</b>
<b>Moment centré d'ordre 3</b>		<b>0,0122</b>	<b>0,0099</b>	<b>0,0307</b>	<b>0,1690</b>	<b>2,0577</b>	<b>0,8528</b>	<b>0,0260</b>	<b>(0,0155)</b>	<b>(0,0352)</b>

## DISCUSSIONS

### Profils de la conductivité électrique dans les trois bacs

La figure 5 ci-après illustre les profils de la conductivité électrique dans les trois bacs les 02 et 29 mai et 08 et 15 juin 2019.



**Fig. 4 : Illustration des profils de la conductivité électrique dans les trois bacs les 02 et 29 mai 2019**

Elle montre que quel que soit la date et le bac choisis, la conductivité électrique croît avec la profondeur d'investigation sous forme d'un polynôme de second degré, dont l'équation peut être écrite sous la forme :

$$\sigma = \alpha(t) + \beta(t).z + \gamma(t).z^2 \quad (1)$$

Les coefficients  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  sont fonctions du temps  $t$  de lessivage des sols. Ils décroissent avec le temps, d'où la forme étalée des courbes au fur et à mesure que progresse le processus de lessivage des échantillons de sols contaminés. Leur détermination permettra une simulation du lessivage approprié des sols contaminés et la détermination de la durée requise pour lessiver une épaisseur de terre salée sulfatée acide donnée.

En outre, cette conductivité électrique étant électrolytique et liée aux concentrations molaires des ions présents dans la solution de sol et l'eau de surface par la loi générale de Kohlrausch (Eq. 2 et 3), les profils mettent en exergue un gradient de concentrations ionique favorable à la diffusion osmotique des solutés les plus mobiles du fond vers la surface.

$$\sigma = \sum_i \lambda_i * C_i \quad (2)$$

et

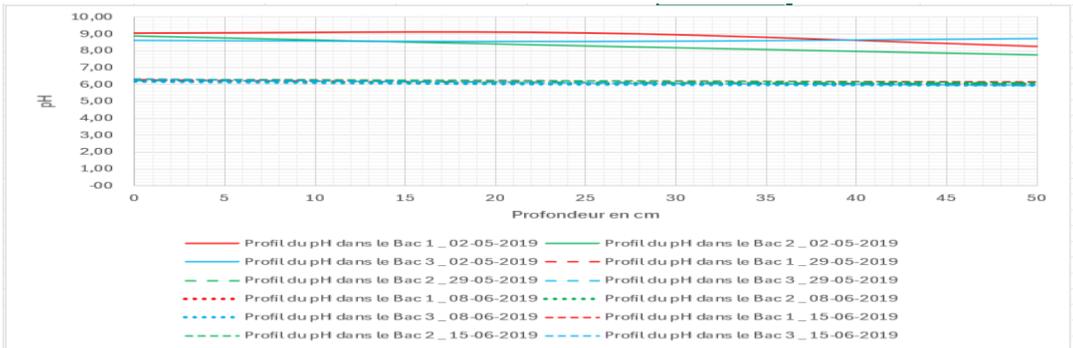
$$\lambda_i = \mu_i * |Z_i| * F \quad (3)$$

avec  $\sigma$  la conductivité électrique en  $S/m$ ,  $\lambda_i$  la conductivité molaire ionique de l'ion  $i$  en  $S * m^2/mol$ ,  $C_i$  la concentration molaire de l'ion  $i$  en  $mol/m^3$ ,  $Z_i$  le nombre de charge électrique de l'ion  $i$  (sans unité),  $\mu_i$  la mobilité ionique de l'ion  $i$  en  $m/s$  et  $F = 96\,500$  Coulombs/mol le Faraday.

En sus, ils montrent que même si les échantillons transférés sont remaniés, la mise en eau des bacs a permis la stratification de la solution de sol avant sa décantation totale.

### Profils du pH dans les trois bacs

La figure 6 ci-après illustre les profils du pH dans les trois bacs les 02 et 29 mai et 08 et 15 juin 2019.



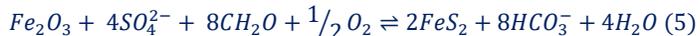
**Fig. 6 : Illustration des profils du pH dans les trois bacs les 02 et 29 mai et 08 et 15 juin 2019**  
 Elle montre que le pH dans les trois bacs passe d'un faciès basique (8 – 9.04) le 02 mai 2019 à acide (5.98 – 6,15) le 15 juin 2019. En sus, au fur et à mesure que le lessivage des échantillons de sols progresse, l'acidité croît linéairement dans les trois bacs avec la profondeur. (Eq. 4) :

$$pH = \delta(t) + \varphi(t).z \quad (4)$$

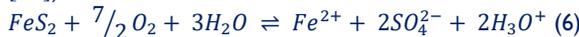
Les coefficients  $\delta$  et  $\varphi$  sont fonctions du temps  $t$  de lessivage des sols. Leur détermination permettra de simuler et prédéterminer la variation du pH en fonction du temps de lessivage d'un sol contaminé bien déterminé.

En outre, ces résultats confirment la diffusion des solutés des couches inférieures vers l'eau de surface ([23]). En effet, la zone d'emprunt des échantillons de sols était colonisée par une forêt de mangrove qui a disparu suite aux différentes sécheresses traversées par le pays et à une transformation pédologique des sédiments. La pénétration moins profonde des eaux marines dans la forêt de palétuviers et leur évaporation prolongée ont augmenté la salinité des sédiments au cœur du peuplement. Les rhizophoras, moins tolérants ont disparu et ont été remplacés par les avicénias. La salinisation des sédiments s'intensifiant, les avicénias ont été également affectés et ont laissé place à des surfaces nues sursalées (les tannes vifs). L'évaporation prolongée favorisant leur aération, des bactéries sulfato-oxydantes se développent et transforment les dépôts sulfurés en Jarosite. Cette transformation s'accompagne d'une forte acidification du milieu ([24]) décrite par les équations Eq.5, 6 et 7.

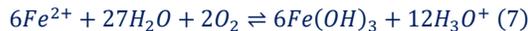
La pyrite est formée à partir de plusieurs étapes, mais l'équation globale (Equation 5) de sa formation est ([25], [26]) :



Quand l'oxygène pénètre le sol et entre en contact avec un sédiment de pyrite réduit, la pyrite est oxydée selon l'équation 6 ([25], [26]) ci-dessous :



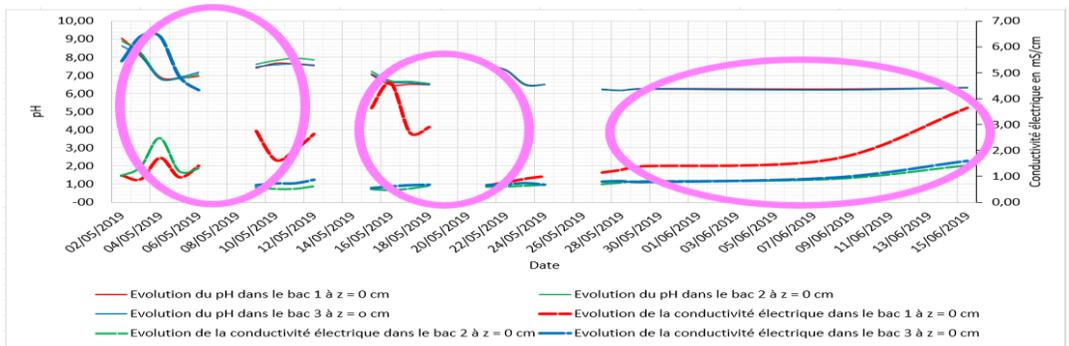
En sus, les ions ferreux libérés (Equation 6) sont à leur tour oxydés en hydroxydes ferriques selon l'équation 7 ci-dessous ([25], [26]) :



D'où l'augmentation de l'acidité avec la progression du lessivage des échantillons de sols et la profondeur d'investigation. Ces résultats confirment ceux obtenus par le programme ILACO en Basse Casamance ([27]). Selon ([28]), l'échec dudit programme est lié à la non-maitrise de la croissance de l'acidité des sols lessivés.

#### **Variation du pH et de la conductivité électrique dans les trois à $z = 00$ cm**

Les résultats de la mesure du pH et de la conductivité électrique dans les trois bacs à  $z = 00$  cm en fonction du temps de lessivage des échantillons de sols sont illustrés dans la figure 7.



**Fig. 7 : Illustration de la variation du pH et de la conductivité électrique dans les trois bacs à z = 00 cm**

Elle montre qu'après chaque renouvellement de l'eau dans les Bacs 2 et 3 ou compensation des pertes par évaporation et évapotranspiration dans le Bac 1, le pH passe d'un faciès basique à acide. Cependant, il croît régulièrement après l'arrêt du renouvellement de l'eau des Bacs 2 et 3 et la compensation des pertes dans le Bac 1. En effet, l'eau du réseau de distribution de la ville de Dakar étant légèrement basique, le passage d'un faciès basique à acide après chaque renouvellement ou compensation est due à la diffusion des ions  $H_3O^+$  issus de l'oxydation de la pyrite (ci-dessus décrite) du fond vers la surface. En outre la légère diminution de l'acidité après l'arrêt des renouvellements d'eau et des compensations est liée à une diminution de la diffusion des ions  $H_3O^+$  à cause de la croissance des concentrations des autres ions présents dans l'eau de surface.

Par ailleurs, après une vidange et un renouvellement de l'eau des Bacs 2 et 3, la conductivité électrique croît sous forme d'une gaussienne jusqu'à 6,43 mS/cm (Bac 3) avant de chuter brusquement à 1,01 mS/cm (Bac 2) et 0,66 mS/cm (Bac 3) respectivement ; tandis que dans le bac témoin, elle croît progressivement sous forme de gaussiennes jusqu'à atteindre un maximum (4,61 mS/cm) après la troisième compensation avant de chuter brusquement à 0,64 mS/cm et remonter à 1,00 mS/cm. Après l'arrêt du renouvellement de l'eau des bacs 2 et 3 et de la compensation des pertes dans le bac témoin, la conductivité électrique croît progressivement sous-forme d'une parabole dans tous les bacs.

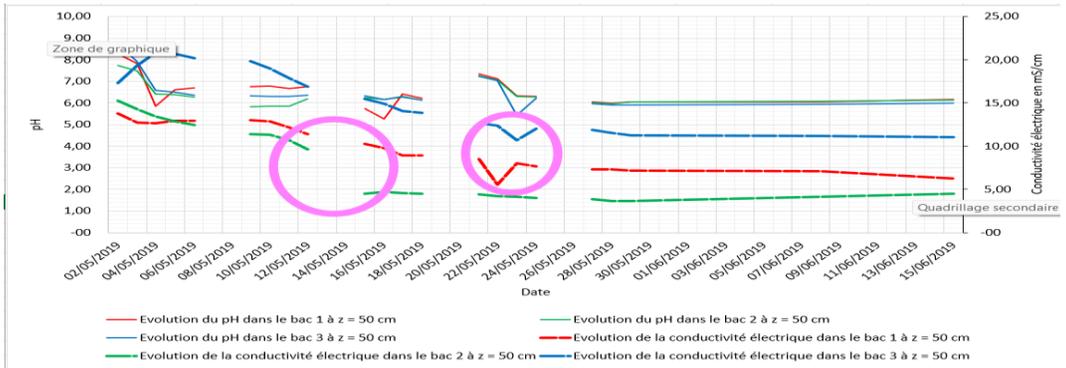
Les gaussiennes notées pendant le lessivage des échantillons de sols confirment les expériences de Vizier ([29], [30]) dans des sols acides saturés d'eau. Vizier démontre que le début de saturation du sol est caractérisé par une baisse du potentiel d'oxydo-réduction, une augmentation du pH pour les sols acides et une rapide croissance des teneurs en fer réduit dans la solution de sol et la phase liquide. La conductivité électrique étant électrolytique, elle croît au début de la saturation. Au-delà d'un certain temps de saturation (variable suivant les sols) on note une stabilisation des valeurs du potentiel rédox, du pH, des teneurs en fer réduit et une immobilisation progressive partielle du fer ferreux attribuée à la formation de composés de fer moins solubles (hydroxydes ferroso-ferriques) ou l'adsorption du fer ferreux dans la solution de sol et une diminution dans la phase liquide. D'où la décroissance de la conductivité électrique.

Quant à la chute brusque de la conductivité électrique dans les Bacs 2 et 3 lors des renouvellements de l'eau, elle est liée à la combinaison des dilutions, du lessivage des ions diffusés, des effets du vent (atmosphère salée des zones côtières) et à ce qui est décrit ci-dessus. En outre, dans le bac témoin, la chute brusque la conductivité électrique est plutôt liée à la combinaison des dilutions de compensation des pertes, des effets du vent et de la stabilisation et l'immobilisation progressive partielle des fers ferreux dans la solution de sol.

Par ailleurs, la croissance de la conductivité électrique observée dans les trois bacs après l'arrêt des renouvellements d'eau et des compensations des pertes est liée à l'accumulation des solutés diffusés de la solution de sol vers l'eau de surface. Elle montre que la dilution et le lessivage sont les facteurs les plus influents de la récupération des sols contaminés. D'ailleurs, la dilution de la solution de sol par les eaux de pluies explique l'absence des phénomènes de salinisation naturelle des basses terres des zones soudaniennes et équatoriales.

#### **Variation du pH et de la conductivité électrique dans les trois à z = 50 cm**

Les résultats de la mesure du pH et de la conductivité électrique dans les trois bacs à z = 50 cm sont illustrés dans la figure 8.



**Fig. 8 :** Illustration de la variation du pH et de la conductivité dans les trois bacs à z = 50 cm

Après trois renouvellements de l'eau dans le Bac 2, la conductivité électrique est passée progressivement de 15.27 mS/cm à 9,62 mS/cm, avant de chuter brusquement à 3.63 mS/cm. Après l'arrêt du renouvellement de l'eau, elle a remonté progressivement jusqu'à 4.49 mS/cm. Dans le Bac 3, après trois vidanges et renouvellement de l'eau, la conductivité électrique est passée progressivement de 17.30 mS/cm à 10.70 mS/cm avant de remonter légèrement à 12.00 mS/cm. Après l'arrêt du renouvellement de l'eau, la conductivité électrique a progressivement continué de baisser jusqu'à atteindre 11,07 mS/cm. En outre dans le bac témoins, la conductivité électrique est passée progressivement de 13.73 mS/cm à 5.63 mS/cm avant de remonter à 7.12 mS/cm. Après l'arrêt des compensations des pertes par évaporation et évapotranspiration, elle a continué à baisser progressivement jusqu'à 6.28 mS/cm.

Au vu de la pente moyenne de décroissance de la conductivité électrique dans les Bac 1 et 3, nous pouvons dire que les chutes brusques notés sont des erreurs de mesures. Le fait qu'elle n'est pas descendue à moins de 4 mS/cm, est lié au blocage des ions métalliques lourds et chélatés par les barrières anti-osmotiques. Quant à la chute brusque de la conductivité électrique après trois vidanges et renouvellements de l'eau dans le Bac 2, elle est due au drainage des ions métalliques victimes des barrières anti-osmotiques lors des vidanges. En outre la remontée notée après l'arrêt des renouvellements est due à la diffusion des solutés mobiles des couches inférieures, non-drainés.

En conclusion, les systèmes équipés de réseaux de drainage des sols semblent plus performants dans les processus de récupération des sols salés sulfatés acides que ceux n'en disposant pas. Ainsi, les ouvrages anti-sel traditionnels diolas étant équipés d'un drain principal collecteur des eaux souterraines, ils semblent plus performants que ceux modernes.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au vu des résultats obtenus nous pouvons dire qu'en quatre vidanges et renouvellements d'eau dans le Bac 2, la conductivité électrique à 50 cm est devenue favorable à la riziculture (3.63 mS/cm) ; tandis les quatre vidanges et renouvellement ou compensations d'eau dans les bacs 3 et 1 n'ont pas permis aux lessivages des échantillons de sols d'être favorables à la riziculture à 50 cm. Ainsi, malgré la limitation de la diffusion des solutés les plus mobiles et la suppression du drainage des ions métalliques par la résurgence de la nappe du plateau dans le bas-fond, les barrages et digues anti-sel équipés de système de drainage sont plus performant que ceux modernes qui n'en disposent pas. Les ouvrages traditionnels diolas semblent plus performants dans les processus de récupération des sols salés sulfatés acides du pays. Ces résultats méritent une confirmation sur le terrain.

## Références

- [1] Centre de Suivi Ecologique (Sénégal), Rapport sur l'état de l'environnement au Sénégal, Edition 2020, 2020, pp.118-131
- [2] S. Sadio, Pédogénèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine – Saloum, Sénégal, Editions de l'ORSTOM, 1991, pp.1-128

- [3] J. P. Montoroi, Dynamique de l'eau et géochimie des sels d'un bassin versant aménagé de Basse-Casamance (Sénégal) : Conséquence sur la gestion durable de l'écosystème de mangrove en période de sécheresse, Thèse de Doctorat Université Nancy I, 1994, pp.21-75
- [4] P. Boivin et D. Brunet, Bilan de quatre années de suivi de la salure d'une vallée aménagée anti-sel par conductivité Électromagnétique et Krigeage, Rapport de campagne, Editions ORSTOM, 1990, pp.1-12
- [5] J. Albergel, D. Brunet, G. Dubee, J. P. Montoroi, P. Zante, Gestion d'un barrage anti-sel en Basse Casamance (Sénégal) : utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride. Editions AUPEL-UREF (1991), 275-285
- [6] B. Barry et J. L. Posner, Bilan de trois années de suivis hydroagricoles du barrage – écluse de Guidel, Basse Casamance (Sénégal), à présenter au IIIème Symposium International sur les sols sulfatés acides, Dakar, janvier 6-11-1986 (1985) 1-21
- [7] L. Diédhiou, Projet de développement et représentations sociales en Basse Casamance : le DERBAC et le PROGES, Thèse de Philosophiae Doctor (Ph.D) en sociologie, Université de Montreal, 2001, pp.252-298
- [8] A. D. Bama - Nati, B. V. Bado, S. Sambou, V. Mel et C. B. Gaye, Rice farming in saline lowland of Sahel: combinaison of anti-salt dam, salt tolerant varieties fertilizers to improve yields – African Journal of Agricultural Research. Vol.10(23)(2015), 2378-2388
- [9] D. A. Bama - Nati, Impact de la variation pluviométrique sur la salinisation des bas-fonds côtiers et processus de leur récupération pour la riziculture : cas des bas-fonds du Sine-Saloum au Sénégal, Thèse de doctorat unique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2016, pp.151
- [10] T. Diop, R. Ndiaye, S. A. Sow et D. D. Ba, Analyse des effets du phosphogypse et du fumier sur la salinité de la cuvette de Ndiol dans le Delta du fleuve Sénégal – Afrique Science 15(4)(2019) 71-80
- [11] D. Fall, Contribution à l'amélioration de la tolérance à la salinité de *Senegalia Senegal* (L) Britton, *Vachellia Seyal* (Delile), P. Hurter et *Prosopis juliflora* (Swart) DC par inoculation microbienne et apports de coques d'arachides, Thèse de Doctorat Unique, UCAD, 2016, pp. 175
- [12] M. Thiao, G. Sène, M. Ndiaye, et E. H. S. N. Sylla, Assessment of the potential of *Vachellia Seyal* and *Prosopis chilensis* for the reclamation fo saline soil lands in the peanut basin production of Senegal, *Front. Plant. Sci.* 13 :1001895 (2022) 1-25
- [13] A. T. Sèye, E. Faye, A. Thiam, F. Matty et B. Sambou, Effet d'un dispositif biomécanique sur la récupération des sols salés et la culture du riz dans le bassin fluvio-marin du Sine Saloum à Ndoff (Sénégal), *Journal of Applied Biosciences* 130(2018) 13162 – 13174
- [14] D. Fall, N. Bakhoum, F. Fall, F. Diouf, M. O. Ly, M. Diouf, D. Guilley, V. Hocher et D. Diouf, Germination, growth and physiological responses of *Senegalia Senega* (L) Britton, *Vaclullia Seyal* (Delile) P., Hurter and *Propopis Juliflora* (Swartz) DC to salinity stress in greenhouse conditions, *African Journal of Biotechnology*, Vol.15 (37)(2016) 2017 – 2027
- [15] E. H. M. BA, Etude des propriétés biomécaniques et de la capacité de vie symbiotique des racines d'arbre d'acacia *Senegal Willd* et de *prosopis juliflora DC*, Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux I / UCAD, 2008, pp.1-122
- [16] O. N. Faye, T. Guèye et A. Dieng, Effets de la salinité sur différentes variétés de riz durant leur phase végétative, *Afrique Science* 13(1)(2017) 101-117
- [17] Y. Maiga, G. Mawussi, O. N. Faye et A. Faye, Screening of Rice Lines (*Oryza sppL.* 1753) for Salinity Tolerance at Vegetative Stage under Senegal River Valley Conditions, *Journal of Experimental Agriculture International* 42(4)(2020) 71-81
- [18] T. SANE, Vulnérabilité et adaptabilité des systèmes agraires à la variabilité climatique et aux changements sociaux en Basse-Casamance (Sud-Ouest du Sénégal), Université Sorbonne Paris Cité, Université Cheikh Anta Diop, 2017, pp.282-305
- [19] H. Bonnefond, Développement agricole et blocages techniques en Basse Casamance, Editions ORSTOM 9–10 (1987) 95-109
- [20] B. Bovin et J. Y. LOYER, Evolution des sols salés de mangrove du périmètre réaménagé de Soukouta I au cours de la saison des pluies 1984 (Vallée de Guidel – Casamance), Editions ORSTOM, 1985, pp.1-15
- [21] C. Marius, Evolution géochimique et exemple d'aménagement des mangroves au Sénégal (Casamance), *OCEANOLOGICA ACTA*, SP (1982)151-160

- [22] A. K. Kwaw, W. Zhu., Z. Dou., J. Wang, P. A. Opoku et Y. Zhang, Influence of Clay on Solute Transport in Saturated Homogeneous Mixed Media, *Hindawi Geofluids* (2021)(2021) 1-14
- [23] P. PELISSIER, Les paysans du Sénégal : Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance, Université de Bordeaux, 1966, pp.407-508
- [24] J. Vieillefon, Les sols des mangroves et des tannes de Basse-Casamance (Sénégal) : Importance du comportement géochimique du soufre dans leur pédogenèse, Mém. ORSTOM, Paris, 1977, pp.65-89
- [25] P. M. Drissen et R. Dudal, Lecture notes on the geography, formation, properties and use of major soils of the world, Agricultural Katholieke I, Universiteit – Wageningen – Leuven, 1989, pp.93-104
- [26] P. M. Drissen et J. Deckers, Lecture notes on the major soils of the world - FAO, Rome, 2001, pp.105-114
- [27] ILACO, Aménagements hydro-agricoles en Casamance, Rapport de gestion des casiers de Médina et de Ndiéba (1965- 1967). Min. Econ. Rurale Sénégal/ILACO, 1967, pp.29-60
- [28] B. Barry et J. L. POSNER, Suivi hydro-agricole du barrage anti-sel de Guidel : Actes du séminaire sur « L'estuaire de la Casamance : environnement, pêche, socio-économie », Ziguinchor, Juin 19-24 (1986) 291-305
- [29] J. F. Vizier, Etude de la dynamique du fer dans des sols évoluant sous l'effet d'un excès d'eau, Etude expérimentale sur des sols de rizières de Madagascar, *Cah. ORSTOM*, XVI (1)(1978) 23-41
- [30] J. F. Vizier, La toxicité ferreuse dans les sols de rizières, Importance du problème, causes et mécanismes mis en jeu, conséquences pour l'utilisation des sols, Antenne ORSTOM auprès du CEA, Fonds Documentaires, 1988, pp.1-13

## Contrôle de la qualité physico-chimique et microbiologique des ressources en eaux souterraines du continental Hamadien/Intercalaire de la région de Tahoua (Sud-Est du Niger)

Mahamadou Hima Abdoulaye<sup>1</sup>, Yahouza Zaneidou<sup>2</sup>, Amadou Haoua<sup>3</sup>

<sup>1</sup>University of André Salifou, Zinder, Niger, ..

<sup>2</sup>Faculty of Education Sciences, University of Djiwo Hamani, Taboua, Niger,

<sup>3</sup>Faculty of Sciences and Technology, University of Abdou Moumouni, Niamey, Niger,

### Résumé

Les eaux souterraines constituent l'une des principales sources d'approvisionnement en eau potable de la population de la région de Taboua. La présente étude s'intéresse à la qualité des eaux de deux aquifères (le continental Hamadien et le continental intercalaire) de la région de Taboua. L'objectif est d'améliorer les connaissances sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de ces aquifères. Une série d'analyses physico-chimiques et microbiologiques effectuées sur des échantillons d'eaux de forages a été réalisée. Le traitement de ces données montre que ces eaux sont basiques ( $6,48 < \text{pH} < 8,48$ ) et moyennement minéralisées dans l'ensemble avec une conductivité électrique variant de 76,45 à 1332,3  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Les paramètres chimiques de qualité sont pour la plupart en dessous de la norme de potabilité OMS, excepté en quelques points où des teneurs en Fer total, et bicarbonates sont élevées et dépassant parfois largement la norme. Les résultats des analyses microbiologiques indiquent une prolifération incontrôlée de bactéries indicatrices de contamination d'origine fécale (Coliforme Totaux et Fécaux). Cette étude montre que les eaux du continental Hamadien et intercalaire sont impropres pour la consommation humaine. Elles doivent faire l'objet de traitement chimique et bactériologique avant consommation.

**Mots-clés :** Eaux de forages, Continental intercalaire et Hamadien, microbiologie, Tahoua.

## Monitoring the physico-chemical and microbiological quality of groundwater resources in the Hamadian/Intercalary continental region of Tahoua (southeast Niger)

### Abstract:

Groundwater is one of the main sources of drinking water for the population of the Taboua region. This study focuses on the water quality of two aquifers (the Hamadian continental and the intercalary continental) in the Taboua region. The aim is to improve knowledge of the physico-chemical and bacteriological quality of the water in these aquifers. A series of physico-chemical and microbiological analyses were carried out on borehole water samples. These data show that the water is basic ( $6.48 < \text{pH} < 8.48$ ) and moderately mineralized overall, with electrical conductivity ranging from 76.45 to 1332.3  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Chemical quality parameters are for the most part below the WHO drinking water standard, except at a few points where FeT and bicarbonate levels are high, sometimes exceeding the standard by a wide margin. The results of microbiological analyses indicate an uncontrolled presence of bacteria indicative of contamination of fecal origin (Total and Fecal Coliform). This study shows that the waters of the Hamadien and Hamadien continental are unfit for human consumption. They require chemical and bacteriological treatment before consumption.

**Key Words:** Drilling water, Continental intercalary, Continental Hamadien, quality, Tahoua.

<sup>1</sup> Corresponding author: [abdoulayemahamadouhima@gmail.com](mailto:abdoulayemahamadouhima@gmail.com)

## I. INTRODUCTION

L'eau est indispensable à la vie et tous les hommes doivent disposer d'un approvisionnement satisfaisant en eau, suffisant, sûr et accessible (OMS, 2017). Dans les pays en développement, obtenir de l'eau saine pour la consommation humaine est devenu un sérieux problème du fait d'un manque de protection de l'environnement (Matini, 2009), notamment les pollutions agricoles, industrielles et / ou urbaine (Bricha et al., 2007). L'approvisionnement non permanent en eau potable par le réseau de distribution nationale a conduit les populations à recourir aux eaux souterraines. En effet l'eau de consommation dans les ménages en milieu rural est sujette à une pollution chimique et/ou bactériologique ; la première due à la contamination naturelle des eaux par des éléments contenus dans les roches, dans les effluents industriels, dans les alliages et les conservateurs de bois, dans les combustibles fossiles..., et la deuxième due à la contamination fécale d'origine humaine ou animale, directe ou indirecte (Gustave, 2013).

Ces pathogènes peuvent provoquer des maladies de gravité variable, la gastro-entérite bénigne, la dysenterie, le choléra, des diarrhées sévères voire même mortelles, fièvre typhoïde, hépatite, Dracunculose, Schistosomiasis, Onchocercose .... Ces maladies dites hydriques tuent environ 5 millions de personnes chaque année et 2,3 milliards en souffrent.

En effet La compréhension des propriétés hydrauliques des couches aquifères et la caractérisation hydro-chimique de l'eau qu'elles contiennent sont nécessaires pour la planification et la gestion des ressources en eau souterraine (Hama et al., 2019).

La présente étude s'intéresse à la qualité des eaux de deux aquifères (le continental Intercalaire et le continental Hamadien) de la région de Tahoua. L'objectif est d'améliorer les connaissances sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de ces aquifères afin d'éviter des causes mortelles des populations liées à la mauvaise qualité de ces eaux. La méthodologie appliquée est basée sur des analyses physicochimiques et bactériologiques au laboratoire et de proposer des traitements spécifiques des eaux contaminées.

## 2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 2.1. Présentation de la zone d'étude

La région de Tahoua, d'une superficie d'environ 114 425 Km<sup>2</sup> s'inscrit entre 13°20' et 18°40' de Latitude Nord et entre 3°50' et 7° de Longitude Est [6]. Elle a une population de 3 328 365 habitants. Elle est limitée au Nord par la région d'Agadez, à l'Ouest par les régions de Tillabéri et Dosso et par la république du Mali, à l'Est par la région de Maradi, et au Sud par la République Fédérale du Nigéria [7].

Le climat de la région de Tahoua est de type sahélo-saharienne, caractérisé par deux saisons. Une sèche, dominée par des vents chauds et secs, l'Harmattan, qui soufflent du nord et nord-est vers le sud et sud-ouest et une humide, en saison pluvieuse, avec des vents issus de la mousson en provenance de l'Atlantique au sud et circulant vers le nord-est.

Le réseau hydrographique est composé par des larges vallées dont : la Tarka, la Maggia, la vallée de Badaguichiri, de Zourourou, d'Abalak, du Tadiss, et de l'Azaouak. Elles ne sont actives que pendant les saisons pluvieuses. On note aussi plusieurs marres temporaires, semi-permanentes et permanentes [6].

En ce qui concerne l'hydrogéologie de notre zone d'étude, on distingue du bas en haut les aquifères suivants :

- **L'aquifère du Continental Intercalaire/Continental Hamadien**, c'est un système aquifère transfrontalier, partagé entre le Niger, le Mali, le Nigeria et accessoirement le Bénin. Il a une grande potentialité hydrique, il est très exploité pour l'alimentation en eau de la population [8] ; [6]. Cet aquifère est à nappe libre à l'est de l'axe Tassara-Abalak est capté à faible profondeur. Par contre, il devient captif dans le reste de la région, avec des profondeurs de captage importantes ;
- **L'aquifère du Crétacé supérieur marin**, il est d'extension limitée, les débits sont dérisoires avec une forte minéralisation des eaux. Cet aquifère localisé essentiellement dans la partie nord de la région de Tahoua est peu sollicité [6] ;
- **L'aquifère du Paléocène**, il est contenu dans des couches calcaires, d'extension très limitée, il est capté à faible profondeur, et les débits sont très faibles ;

- **Le système aquifère multicouche du Continental Terminal (CT)**, comprenant trois nappes, CT<sub>1</sub> et CT<sub>2</sub> qui sont captives et CT<sub>3</sub> qui est libre. Seules les nappes du CT<sub>1</sub> et CT<sub>2</sub> sont exploitables dans la région de Tahoua avec des débits pouvant avoisiner les 20 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> localement ;
- **Les aquifères du Quaternaire, à nappes phréatiques**, sont captés par des forages de faible profondeur et par des puits (cimentés et traditionnels). Ils sont facilement accessibles aux populations, à cause de leurs faibles profondeurs. Cependant, ces aquifères sont très sensibles aux pollutions, liées aux différentes activités anthropiques (utilisation intensive d'engrais chimiques et pesticides).

## 2.2. Matériels

Les mesures sur le terrain ont été faites à l'aide d'un appareil multi paramètres de marque HANNA HI9820 (figure 2). Ces mesures concernent : la température (T°C), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE) et la turbidité.

Les paramètres chimiques analysés sont : les ions hydrogénocarbonates ou bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les ions calcium (Ca<sup>2+</sup>), les ions magnésium (Mg<sup>2+</sup>), potassium (K<sup>+</sup>), sodium (Na<sup>+</sup>), les ions nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les ions chlorures (Cl<sup>-</sup>), les ions fluorures (F<sup>-</sup>), Fer total (FeT) ; Mn<sup>2+</sup> et les ions sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Le matériel utilisé pour déterminer la teneur de tous ces paramètres est le suivant :

- ✓ spectrophotomètre photolab spectral WTW;
- ✓ Spectrophotomètre hach DR 1900.
- ✓ du matériel de laboratoire

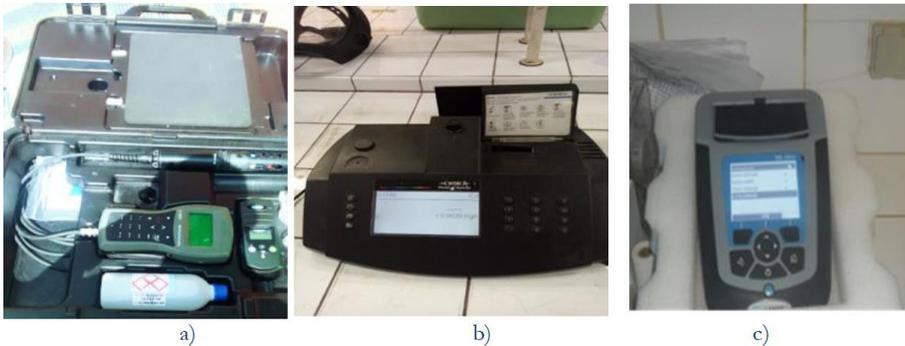


Figure 2 : a) Multi paramètres de marque HANNA HI9820 b) spectrophotomètre photolab spectral WTW ; c) spectrophotomètre hach DRI900

Les paramètres microbiologiques que nous nous sommes intéressés pour notre étude sont : les coliformes (Totaux et Fécaux) et les streptocoques fécaux (*Escherichia Coli*).

Les matériels utilisés pour cette analyse sont :

- ✓ les boites à pétri et tubes gélosés : milieu de culture des microbes ;
- ✓ les filtres de 0,45µm pour retenir les microbes;
- ✓ les pipettes ;
- ✓ l'autoclave pour stériliser les pipettes ;
- ✓ le bec bunsen pour travailler à l'abri des microbes ;
- ✓ l'étuve de 37°C : lieu d'incubation des bactéries sauf *E. coli*;
- ✓ l'étuve de 44°C : condition de culture d'*E. coli*
- ✓ les entonnoirs ;
- ✓ la pince ;
- ✓ la rampe filtrante ou fiole à vide ;
- ✓ la plaque chauffante pour chauffer le tube gélose viande foie qui retient les bactéries sulfito-réductrices;
- ✓ l'éthanol pour stériliser la paille ;
- ✓ l'eau distillée pour inhiber le milieu de culture ;
- ✓ compteur des microbes.

### 2.3. Méthodologie

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées sur les eaux de forages captant les nappes du Continental Hamadien et du continental Intercalaire.

Les échantillons d'eau nécessaires à l'analyse physico-chimique ont été prélevés selon la méthode décrite par [9] dans des flacons polyéthylène stérilisés de capacité un (01) Litre et conservés à 4°C dans une glacière, ensuite analysés dans les 24 heures qui suivent. Pour le prélèvement d'eau nécessaire à l'analyse bactériologique, nous avons utilisé des flacons en verre stérilisés de capacité 250 mL. Tout d'abord, le bout du robinet est soigneusement nettoyé à l'alcool à l'externe comme à l'interne, puis les mains sont désinfectées avec un gel désinfectant, par la suite le robinet est flambé après on effectue le prélèvement en prenant soin d'ouvrir le flacon à côté du champ créé par le chalumeau et prélever au  $\frac{3}{4}$  du volume du flacon. L'échantillon est conservé à la fin dans les glacières portées à 4°C, analysés juste après la campagne de prélèvement dans les 24h.

Les échantillons d'eau destinés aux analyses chimiques et bactériologiques ont été prélevés dans 12 communes (dans les douze départements) en raison d'un échantillon pour les analyses physico-chimiques et un échantillon pour les analyses microbiologiques par commune de la région de Tahoua (Figure 1), donc ce qui fait au total 24 échantillons. Les points d'eau de prélèvement ont été choisis à partir d'un maillage représentatif pour la région de Tahoua, de manière à avoir une image d'ensemble de la qualité de l'eau de la région. Les aquifères échantillonnés ont été répartis comme suit :

- Le continental Hamadien avec six (6) forages à Inkinkaran (Keita) Katoria (Malbaza), Tabani (Keita), Tassak Tajae (Keita), Goundouroum et Tarwada ;
- Le continental Intercalaire avec six (6) forages à Bakin zango, Bibila, Imboukar Nekalan, Irguine, Kitambahou et Mini Mini ont été échantillonnés.

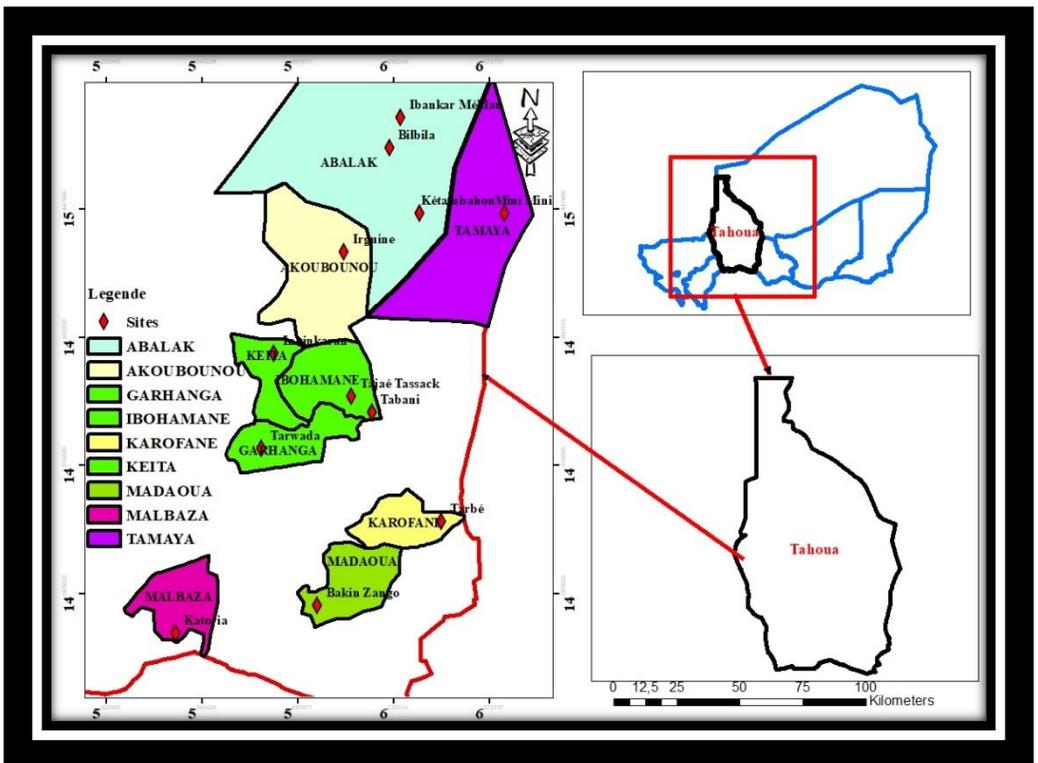


Fig. 1 - Localisation des points de prélèvement d'eau souterraine.

### 3. Résultats

#### 3.1. Résultats des paramètres physicochimiques

La profondeur des eaux souterraines du continental Hamadien/continental intercalaires de notre zone d'étude varie entre 750m et 150m avec une moyenne de 450m, de ce fait ces eaux sont profondes.

L'eau qui constitue un élément incontournable pour le développement socio-économique est menacée de contamination. Il convient donc de connaître et suivre la qualité de cette ressource.

Les résultats des analyses physicochimiques réalisées sur les ressources en eau du continental Hamadien/continental Intercalaire sont présentés dans le Tableau 1.

Les températures enregistrées dans les eaux du continental Hamadien/continental Intercalaire varie entre 20,6 et 36°C avec une moyenne de 27,5°C. Ces valeurs sont similaires avec ceux trouvées par [10] dans la ville de Tahoua avec une moyenne de 31,4°C. Ces températures reflètent celles des températures atmosphériques moyennes observées dans les régions arides à semi arides : 15 à 35°C [5]. Cela prouve que cette température est moyennement bien répartie dans l'espace.

Concernant le pH des eaux, il varie entre 6,73 et 7,66 avec une moyenne de 7,25 ± 0,30, ce qui indique que ces eaux sont basiques. Ces valeurs de pH sont conformes à la norme OMS 2017 (Tableau 2).

Les eaux du continental Hamadien/Intercalaire sont moyennement minéralisées avec une conductivité électrique qui varie entre 76,45 et 1332,3µS.cm<sup>-1</sup> avec une moyenne de 288,5 µS.cm<sup>-1</sup>. Les eaux à fortes conductivité électriques sont celles du village de Bilbila Abalak (1332,3 µS.cm<sup>-1</sup>), les fortes valeurs en conductivités en zone du socle méritent une attention particulière car certaines sont synonymes d'éléments indésirables en l'occurrence les nitrates. La grande variabilité de la conductivité serait due à la nature des terrains traversés par l'eau lors de son ruissellement avant de s'infiltrer et pendant l'infiltration. Les paramètres chimiques de qualité sont pour la plupart au-dessous de la norme de potabilité OMS 2017, excepté en quelques points où des teneurs en FeT, et bicarbonates sont élevées et dépassant parfois largement la norme.

Une surcharge de l'organisme humain en fer peut entraîner une hémochromatose primitive (mauvaise régulation de l'absorption du fer par l'intestin) et même une cancérisation hépatique [11]. Aux concentrations supérieures à 0,3mg.L<sup>-1</sup>, la présence du fer dans l'eau affecte les qualités organoleptiques de l'eau (gout désagréable, odeur, couleur) et est responsable avec le temps des dépôts corrosifs dans les canalisations. Ces dépôts formés peuvent être le siège des colonies bactériennes très toxiques [12]. La teneur en fer total de notre zone d'étude varie entre 0,07 et 4,5mg.L<sup>-1</sup> avec une moyenne de 1,56mg.L<sup>-1</sup>. Ces résultats sont similaires avec ceux trouvés par Abdoulaye et al., 2024 dans la région de Tahoua (3,6mg.L<sup>-1</sup>), ce qui prouve que dans l'ensemble la teneur en FeT est élevée.

Au vu des concentrations élevées en fer dans certains forages, il est impératif de prendre des dispositions visant à améliorer la qualité des eaux de consommation. Actuellement plusieurs méthodes d'élimination de fer sont développées. Parmi ces procédés on peut citer entre autres les procédés physico-chimiques basés sur l'emploi des oxydants plus ou moins forts (chlore, permanganate de potassium, l'oxygène et l'ozone), des procédés biologiques qui font intervenir des micro-organismes, des procédés catalytiques qui reposent sur un phénomène d'adsorption et d'oxydation à la surface d'un matériau spécifique et des procédés membranaires [8] ; [13] ; [14].

Table 1 : Résultats des analyses physicochimiques

Localités	Mn <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>
Bakin Zango	0	21	1,7	0,02	6	28	0	0
Bibila	0	0	3,52	0,015	8	250	0	0
Imboukar Nekalan	0	2	7,48	0,24	0	34	0	0
Inkinkaran	0,48	7	8,8	0,02	0	108	0	0
Irguine	0,32	28	3,086	0	4	128	0	0
Katoria	0	26	3,52	0,02	0	104	0	0
Kitambahou	0,32	13	22,88	0,06	6	18	0	0
Mini Mini	0	24	5,28	0,03	8	386	0	0
Tabani	0,92	12	1,76	0,06	6	72	0	0
Tassak Tajae	1,14	11	24,2	0,099	0	20	0	0
Goundouroum	0	87	6,6	0,19	8	142	0	0
Tarwada	0,67	8	3,52	0	8	40	0	0

**Table 1** (suite et fin) : Résultats des paramètres physico-chimiques

Localités	pH	CE	T°	Turbidité	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	FeT	Na <sup>+</sup>
Bakin Zango	7,22	209,1	21,6	2,01	24,8	2,43	0	0,37	0
Bibila	7,29	1332,3	28	2,01	45,6	14,1	0	0,07	0
Imboukar Nekalan	7,5	152,8	30,7	2,01	3,2	3,89	0	0,1	0
Inkinkaran	7,63	116,5	23,6	2,46	3,2	8,26	0	4,47	0
Irguine	6,73	201,7	20,6	3,84	12	3,24	0	0,98	0
Katoria	7,19	209,1	34,6	1,86	17,6	0,48	0	0,56	0
Kitambahou	6,83	78,18	30,3	22,68	3,2	1,94	0	1,32	0
Mini Mini	6,94	433,2	28,4	3,86	0	6,04	0	0,31	0
Tabani	7,66	93,34	21,7	5,64	2,4	4,86	0	2,64	0
Tassak T	7,55	76,45	23,6	14,98	0	0,48	0	4,5	0
Goundouroum	7,27	460,8	36	1,46	13,6	19,94	0	0,96	0
Tarwada	7,25	98,55	31	5,98	6,4	1,94	0	2,47	0

**Table 2** : Normes des paramètres physico-chimiques [1]

Paramètres	Unité	Directives [1]
pH	U	6,5-8,5
Température	°C	25 - 50
Conductivité	µs.cm <sup>-1</sup>	-
Turbidité	UNT	5
Mg <sup>2+</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	-
Ca <sup>2+</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	-
Na <sup>+</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	200
K <sup>+</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	250
Cl <sup>-</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	250
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	50
F <sup>-</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	1,5
FeT	mg.L <sup>-1</sup>	0,3

### 3. Résultats des paramètres microbiologiques des eaux

L'étude bactériologique a pour but la détection de la pollution fécale. Les défécations humaines et animales constituent la principale source potentielle de germes pathogènes (causes d'entéropathies chez l'homme) [15].

La classification des eaux en fonction de la quantité de coliformes contenus dans celles-ci établie par l'OMS met en évidence trois classes :

- ✓ Classe I : eau de bonne qualité ; elle est représentée par des taux de coliformes inférieurs à 10 coliformes/100 mL. Cette eau peut être utilisable après désinfection ;
- ✓ Classe II : eau moins bonne ; le taux de coliformes est compris entre 10 à 100 coliformes/100 mL. Cette eau est polluée et ne doit être utilisée qu'après un traitement, approprié ;
- ✓ Classe III : eau de mauvaise qualité ; taux de coliformes supérieur à 100 coliformes/100 mL.

Dans le domaine de l'hygiène, les analyses bactériologiques concernent souvent, non pas des micro-organismes pathogènes, mais des germes jouant un rôle d'indicateurs sans que leur présence constitue nécessairement un risque en soi pour la santé publique (Rodier et al., 2009).

Sont ainsi distingués deux types principaux d'indicateurs : les indicateurs de Contamination fécale et les indicateurs d'efficacité de traitement. Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés aux indicateurs de contamination fécale appelés coliformes (Totaux et Fécaux) et les streptocoques fécaux (*Escherichia Coli*). La recherche de ces paramètres de contamination fécale est l'application générale pour le contrôle de la qualité bactériologique de l'eau [9].

Les résultats des analyses microbiologiques sur les eaux sont indiqués dans le tableau 3. Ces résultats montrent que parmi les 12 échantillons qui ont été analysés 5 (cinq) sont contaminés : il s'agit des échantillons de Bibla, Inkinkaran, Kitambahou, Mini Mini et Tabani.

Les eaux de Bibla, Inkinkaran et Mini Mini ont des taux de coliformes totaux respectivement de 05 ; 08 et 03 coliformes/100mL, ces valeurs sont inférieures à 10 coliformes/100mL, ce qui indique que ces eaux appartiennent à la classe I. Ces eaux sont de bonne qualité pour la consommation humaine mais elles doivent subir une désinfection avant utilisation. En ce qui concerne les eaux de forage de Tabani, la valeur de coliforme totaux est de 34/100mL. Le taux de coliformes est compris entre 10 à 100 coliformes/100 mL. Ces eaux appartiennent à la classe II, elles sont alors moins bonnes. Les eaux de Tabani sont polluées et ne doivent pas être utilisées qu'après un traitement approprié.

Les valeurs des coliformes fécaux et streptocoques fécaux dans les eaux de forage de Kitambahou dépassent les 100 coliformes/100mL. Elles appartiennent alors à la classe III, ce sont des eaux trop polluées donc de mauvaises qualités. Elles sont impropres à la consommation humaine, alors les eaux de Kitambahou ne doivent être consommées qu'après un traitement spécifique très poussé.

Table 3 : Résultats des analyses microbiologiques

Localités	Coliforme totaux	Coliforme fécaux	Escherichia Coli
Bakin Zango	00	00	00
Bibila	05	00	00
Imboukar Nekalan	00	00	00
Inkinkaran	08	00	00
Irguine	00	00	00
Katoria	00	00	00
Kitambahou	TNT	TNT	00
Mini Mini	03	00	00
Tabani	34	00	00
Tassak Tajae	00	00	00
Goundouroum	00	00	00
Tarwada	00	00	00

## CONCLUSION

Le contrôle de la qualité physico-chimique et microbiologique a été réalisé à partir des analyses physico-chimiques et bactériologique. Cette étude met en évidence les différentes caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de la zone d'étude.

Les analyses physicochimiques montrent que les eaux de notre zone d'étude sont basiques (6,48<pH<8,48) et moyennement minéralisées dans l'ensemble. Les paramètres chimiques de qualité sont pour la plupart au-dessous de la norme de potabilité OMS, excepté en quelques points où des teneurs en FeT, et bicarbonates sont élevées et dépassant parfois largement la norme. Au vu des concentrations élevées en fer dans certains forages, il est impératif de prendre des dispositions visant à améliorer la qualité des eaux de consommation. Actuellement plusieurs méthodes d'élimination de fer sont développées. Parmi ces procédés on peut citer entre autres les procédés physico-chimiques basés sur l'emploi des oxydants plus ou moins forts (chlore, permanganate de potassium, l'oxygène et l'ozone), des procédés de précipitations, des procédés biologiques qui font intervenir des micro-organismes, des procédés catalytiques qui reposent sur un phénomène d'adsorption et d'oxydation à la surface d'un matériau spécifique et des procédés membranaires.

Quant aux résultats des analyses bactériologiques, ils ont fait sortir une grande prolifération des bactéries indicatrices de contamination d'origine fécale (Coliformes Totaux et Féciaux) et la qualité bactériologique est donc médiocre. Des procédés d'éliminations de ces bactéries doivent être effectués avant consommation tels que la méthode de désinfection communément appelée chloration choc ou bien la chloration continue, la méthode de lumière ultraviolette.

Cette étude a donné des résultats certes intéressants mais méritent d'être complétés par d'autres investigations notamment une étude des paramètres chimiques des métaux lourds, les pesticides ainsi qu'une étude bactérienne complète. Ces travaux permettront de disposer d'une base de données pour un suivi de la qualité physico-chimique et bactérienne des eaux souterraines du continental Hamadien/continental intercalaire.

## Références

- [1] OMS (2017) : Directives de qualité pour l'eau de boisson, 4eme édition. ISBN 978-92-4-254995-9.
- [2] Matini.L, J.M. Moutou et M.S.Kongo-Mantono, (2009) : Evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo. Afrique SCIENCE 05 (1) (2009) 82-98.
- [3] Bricha S., K. Ounine, S. Oulkheir, N. El Haloui Et B. Attarassi (2007) : Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra, Maroc. Afrique SCIENCE 03(3), 391 – 404.
- [4] Gustave Nkurunziza (2013) : Etude de la qualité de l'eau de boisson le long de la chaîne de l'eau dans les ménages de trois régions du Burkina Faso : cas des villages de Kamboinsé, Koubri, Sikoro et Bapla. Mémoire pour l'obtention du master en ingenierie de l'eau et de l'environnement option : eau & assainissement.
- [5] Hama Adamou, Abdou Salam Manzola, Haoua Amadou and Mahaman Sani laouali (2019) : International Journal of Advanced Research; 2019 ; Vol. 7; n°8; 828-835.
- [6] Hassane Saley Abdel kader (2018) : Evaluation des ressources en eau de l'aquifère du continental intercalaire /Hamadien de la région de TAHOUA (bassin des lullemeden, Niger) : impacts climatiques et anthropiques. Thèse de Doctorat en science de l'université paris-Saclay et grade de Docteur en sciences de l'université Abdou Moumouni de Niamey .296p.
- [7] Bureau des Nations Unies pour la coordination des affaires Humanitaires (2021) : Analyse trimestrielle, OCHA, Niger-Région de Tahoua.
- [8] Amadou Haoua, Mahaman Sani Laouali, Abdou Salam Manzola (2014) : Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines de la region de Tahoua (Niger), Int. J. Biol. Chem. Sci. 8(4): 1904-1916.
- [9] Rodier Bernard Legude, Nicole Merles et coll. (2009) : l'analyse de l'eau 9ieme Edition, Ed.Dunod, Paris 1579p.
- [10] Mahamadou Hima Abdoulaye, Yahouza Zaneidou, Abdou Goumar, Amadou Haoua, (2024) : Etude De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique Des Eaux De Forages Privés, Destinés A La

Consommation Humaine Dans La Ville De Tahoua (Niger). Journal of Applied Chemistry ISSN: 2278-5736. Volume 17, Issue 1 Ser. I PP 12-25.

[11] Ruitiny M., Bechir, B. T. (2015): Elimination Of Iron By Processes Of Oxidation And By Adsorption On Coal Of Pine. International Journal Of Innovation And Applied Studies, 694-700.

[12] Dangeti S, Roshani B, Rindall B, Mcbeth, J.M; Wonjae C. (2017): Biofiltration Field Study For Cold Fe(II) And Mn (II) Rich Groundwater: Accelerated Mn(II) Removal Kinetics And Cold-Adpted Mn(II) Oxidizing Microbial Populations. Water Quality Research Journal 52(4): 229 -242.

[13] OMS (2011): Guidelines for drinking water quality, fourth edition, Geneva, 541p.

[14] Yahouza Zaneidou (2020) : Contribution à l'étude des eaux de Dan Daji : Etude des Mécanismes de précipitation des oxydes de fer et de la prévention des phénomènes d'entartrage. Thèse de doctorat unique de l'université Abdou Moumouni. Spécialité : Chimie Physique Option Traitement des eaux .155p.

[15] Boubakar Hassane A. (2010). Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique: Cas de la communauté urbaine de Niamey (NIGER). Thèse de doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, p. 249.

## Relation longueur-poids et facteur de condition de cinq espèces de poisson de la zone stannifère du Katanga avant son ouverture à l'exploitation minière industrielle (République Démocratique du Congo.)

David Mfwana Inabanza<sup>1</sup>, célestin Banza Lubaba Nkulu<sup>2</sup>, Isidore Ilunga Inabanza<sup>3</sup>

1. Université de Lubumbashi, Faculté de Sciences Agronomiques/ Biodiversité et Exploitation Durable des Zones Humides, Unité de Toxicologie et Environnement, Avenue Ndjamenaville de Lubumbashi B.P 1825 RDC, ,

2. Université de Lubumbashi, Faculté de Médecine/ Ecole de Santé Publique, Unité de Toxicologie et Environnement, Avenue Ndjamenaville de Lubumbashi B.P 1825 RDC,

3. Université de Lubumbashi, Faculté de Sciences et Technologies /Science zoologique, Unité de Toxicologie et Environnement, Avenue Ndjamenaville de Lubumbashi B.P 1825

### Résumé

L'exploitation des ressources minières constitue un socle pour le développement économique et social pour bon nombre de pays. Cependant les activités minières ont des impacts environnementaux, sanitaires et sociaux importants. Les réserves minières de la R.D. Congo sont diverses et importantes et font de ce pays « un scandale géologique ». Pour répondre aux besoins croissants de la population mondiale en produits issus des nouvelles technologies (batteries, piles rechargeables, voitures électriques, etc.) l'extraction des minerais stratégiques s'intensifie en RD Congo. Cependant leur exploitation contribue également à la pollution des milieux aquatiques, cause la perte de la biodiversité dont les espèces endémiques et contamine de la chaîne trophique avec des risques sanitaires pour l'homme. Objectif : Fournir les premières données sur l'ichtyofaune des lacs Lukushi (ancien réservoir GEOMINES) et Muyumba avant l'exploitation industrielle des minerais stannifères du Katanga à travers l'étude de la relation longueur-poids et de facteur de condition de cinq espèces dominantes desdits lacs. Méthodologie et résultats : Les poissons ont été collectés en octobre 2022 à travers des pêches traditionnelles aux filets épervier et maillant. Au total 360 spécimens de poissons de cinq espèces dominantes des deux lacs à savoir, 102 *Oreochromis niloticus* (Tilapia du Nil), 51 *Clarias sp* (Catfish), 29 *Synodontis gresboffi*, 161 *Schilbe intermedius* (African butter catfish) et 17 *Brycinus imberi* (Imberi tetra) ont été soumis à l'étude de la relation longueur-poids (RLP) et de facteur de condition(K). Les régressions longueur-poids, appliquées ici, ont donné des coefficients d'allométrie situés entre 0,9285 et 3,0345 au lac Lukushi tandis qu'à Muyumba ils varient de 1,9624 à 3,749 avec des coefficients de détermination R<sup>2</sup> qui varient de 0,4796 à 0,9961 au lac Lukushi et de 0,7569 à 0,9745 au lac Muyumba. Quant au facteur de condition moyen K, il varie de 0,812 ± 0,32 à 1,716 ± 0,212 au lac Lukushi et de 0,43 ± 0,007 à 1,75 ± 0,12 au lac Muyumba. La croissance allométrique est positive pour *Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* et *Schilbe intermedius* au lac Muyumba et négative au lac Lukushi. Contrairement aux autres espèces, *Clarias sp* présente la croissance inverse. Exceptionnellement *Synodontis gresboffi* présente une croissance allométrique négative aux deux sites. Conclusion et application des résultats: Le modèle de croissance dans le lac Lukushi comparé à celui du lac Muyumba dans le Tanganyika explique l'impact négatif de la pollution des eaux par l'exploitation minière sur la biodiversité aquatique.

**Mots-clés :** ichtyofaune, relation longueur-poids, facteur de condition, lac Lukushi, lac Muyumba,

### Length-weight relationship and condition factor of five species of fish from the tin zone of Katanga before its opening to industrial mining (Democratic Republic of Congo)

### Abstract:

The exploitation of mineral resources constitutes a basis for economic and social development for many countries. However, mining activities have significant environmental, health and social impacts. The mineral reserves of the DR Congo are diverse and significant and make this country "a geological scandal". To meet the growing needs of the nun population for products resulting from new technologies (batteries, rechargeable batteries, electric cars, etc.) the extraction of strategic minerals is intensifying in DR Congo. However, their exploitation also contributes to the pollution of aquatic environments, causes the loss of biodiversity including endemic species and contaminates the trophic chain with health risks for humans. Objective: To provide the first data on the ichthyofauna of lakes Lukushi (former GEOMINES reservoir) and Muyumba before the industrial exploitation of the tin ores of Katanga through the study of the length-weight relationship and condition factor of five dominant species of said lakes. Methodology and results: The fish were collected in October 2022 through traditional fishing with cast nets and gill nets. A total of 360 fish specimens of five dominant species from the two lakes namely, 102 *Oreochromis niloticus* (Nile Tilapia), 51 *Clarias sp* (Catfish), 29 *Synodontis gresboffi*, 161 *Schilbe intermedius* (African butter catfish) and 29 *Brycinus imberi* (Imberi tetra) were subjected to the study of the length-weight relationship (LPR) and condition factor (K). The length-weight regressions, applied here, gave allometry coefficients located between 0.9285 and 3.0345 at Lake Lukushi while at Muyumba they vary from 1.9624 to 3.749 with coefficients of determination R<sup>2</sup> which vary from 0.4796 to 0.9961 at Lake Lukushi and from 0.7569 to 0.9745 at Lake Muyumba. As for the average condition factor K, it varies from 0.812 ± 0.32 to 1.716 ± 0.212 at Lake Lukushi and from 0.43 ± 0.007 to 1.75 ± 0.12 at Lake Muyumba. Allometric growth is positive for *Oreochromis niloticus*, *Brycinus imberi* and *Schilbe intermedius* at Lake Muyumba and negative at Lake Lukushi. Unlike other species, *Clarias sp* shows the opposite growth. Exceptionally *Synodontis gresboffi* shows negative allometric growth at both sites. Conclusion and application of results: The growth model in Lake Lukushi compared to that of Lake Muyumba in Tanganyika explains the negative impact of water pollution by mining on aquatic biodiversity.

**Key Words:** ichthyofauna, length-weight relationship, condition factor, Lake Lukushi, Lake Muyumba.

<sup>1</sup> Corresponding author: [mfwanadavid@gmail.com](mailto:mfwanadavid@gmail.com)

## I. INTRODUCTION

L'exploitation des ressources minières constitue un socle pour le développement économique et social pour bon nombre de pays. Cependant les activités minières ont des impacts environnementaux, sanitaires et sociaux importants. [24], [25].

Les réserves minières de la R.D. Congo sont diverses et importantes et font de ce pays « un scandale géologique ». Le sous-sol katangais est le plus pourvu avec 73,3% des ressources minières nationales. Toute l'activité économique de la province gravite autour de l'exploitation minière. Ces ressources sont surtout concentrées sur deux axes principaux (Fig.1) : l'arc cuprifère et la région stannifère. [6]

1° L'arc cuprifère (Copper belt) : C'est une aire de 32.000 km<sup>2</sup>, alignée suivant l'axe NO-SE au Katanga méridional (Kolwezi-Likasi-Lubumbashi) et se prolonge jusqu'en Zambie. Dans cette aire, les opérations d'exploitation minière couvrent près de 18.900 km<sup>2</sup> représentant la concession regorgeant d'importants gisements de cuivre à haute teneur et les minerais associés tels que le cobalt, le zinc, le plomb. On y trouve aussi l'argent, le cadmium, le rhénium, la platine, l'uranium. La consistance des richesses minières de cette partie de la RDC fait que ce dernier regorge, 50% des réserves mondiales de cobalt et 10% de cuivre.

2° La région stannifère (Tin region) : C'est une aire alignée suivant l'axe SO -NE au Katanga septentrional (Luena-Kipamba-Mitwaba-Malemba Nkulu-Manono) et couvre près de 14.000 km<sup>2</sup>, et se prolonge jusqu'au Nord-Kivu en passant par le Maniema et le Sud-Kivu. Il regorge d'importants gisements de la cassitérite (Étain), de l'or, du Coltan (Colombo Tantalite), de pegmatites, des terres rares. C'est donc dans ce milieu que Manono est née en 1919 avec la mise en exploitation d'un riche gisement de cassitérite par la société minière Géomines. [7]

Le fleuve Congo (Lualaba) traverse une importante dépression lacustre (dépression de Kamalondo ou dépression de l'Upemba) de près de 250 km de long et couvrant une superficie d'environ 1.700 km<sup>2</sup>. La dépression de Kamalondo est un vaste ensemble de plus de 50 lacs dont les lacs Upemba (530 km<sup>2</sup>) et Kisale (300 km<sup>2</sup>) sont les plus importants. La production potentielle de la dépression est de 30.000 tonnes/an. En 1983, le niveau estimé des captures était de 16.000 tonnes. Le poisson de ce plan d'eau est écoulé dans les provinces de Katanga ( 23% ), Kasai oriental ( 33% ), Kasai Occidental ( 43% ), Kivu ( 1% ) et parfois aussi à Kinshasa. Dans le Lualaba et ses affluents jusqu'à la dépression de la Kamalondo, l'inventaire des poissons du système de la dépression de la Kamalondo comprendrait 250 espèces dont 33 endémiques. [14].

La demande mondiale pour les minerais produits en R.D. Congo est devenue très forte et résolument orientée à la hausse sur le long terme, compte tenu des besoins de l'industrie. L'inversion du cycle des matières premières et le rebond des cours mondiaux qui s'en est suivi en 2017 (Cuivre : + 60 % à 7.100 USD / tonne ; cobalt : + 125,98 % à 71.000 USD / tonne et de l'or : +20 % à 1.300 USD / l'once) a favorisé une croissance des volumes des productions (+ 9,3 % pour le cuivre ; + 18 % pour le cobalt et + 5,7 % pour l'or). [27]

Pour répondre aux besoins croissants de la population mondiale en produits issus des nouvelles technologies (batteries et piles rechargeables, aimants pour éoliennes, cellulaires, écrans plats, ...), l'extraction des ressources minérales s'est intensifiée au cours de ces dernières décennies [6].

Cette intensification fait ressortir la linéarité de l'économie de la R.D. Congo, toujours basée sur l'extraction des ressources minérales, leur transformation en produits semi-finis, puis l'élimination des déchets, très souvent, dans la nature sans traitement préalable. Ces rejets, souvent toxiques, abandonnés dans la nature, finissent leur course dans les cours d'eau soit sous forme d'effluents, soit sous forme tellurique (érosions causées par les eaux de ruissellement) ou encore sous forme de retombées atmosphériques [15].

Les effets directs de cette pollution des milieux aquatiques suite à la libéralisation de l'exploitation minière, sont la perte de la biodiversité dont des espèces endémiques, et la contamination de la chaîne trophique avec comme conséquences l'amplification biologique des polluants métalliques le long de la chaîne trophique. La disparition totale de la biodiversité aquatique dans les cours d'eau de Likasi (rivière Kimpulande) et Kolwezi (rivières Musonoie, Luilu, Dilala, Lac Golf, Kampemba, Kalemba, Tshituta, Katapula, Kalenge), villes fortement industrialisées, constitue un signe avertisseur des effets néfastes de la pollution minière sur les écosystèmes aquatiques. [5]

L'implantation d'au moins 125 entreprises minières dans la région stannifère du Katanga, riche en minéraux stratégiques tels que le lithium, la cassitérite, le niobium, la colombite, le Tantal, le wolfram, l'or etc, alerte sur



### Echantillonnage

Les échantillons de poissons ont été prélevés de façon aléatoire aux points de débarquement des pêcheurs, transportés à froid dans un bac isotherme vers le laboratoire de l'Unité de Toxicologie et Environnement de l'Université de Lubumbashi.

Au Laboratoire, les poissons ont été identifiés grâce à la clé de [23], [28], [10].

### Mensuration morphométrique

Le relevé de la longueur Totale des spécimens a été fait à l'aide d'un ichtyomètre (pieds à coulisse). Une balance de marque BAXTRAN (model BW 15) de portée 15 kg et de précision 0,5 g a été utilisée pour la mensuration de la masse totale. La longueur du poisson prise au centimètre a été effectuée en partant du bout du museau du poisson jusqu'au bout de la nageoire caudale. Les poissons ont par la suite été pesés individuellement au gramme près.

### Expressions mathématiques

Partant de l'équation de [16],  $P = a * L^b$

Où L, est la longueur totale du poisson en cm et P, le poids total du poisson en g, les paramètres a et b, représentant respectivement l'intercepte et le coefficient d'allométrie ont été déduits par linéarisation logarithmique. Le Facteur de condition de Fulton (K) a été calculé afin d'apprécier l'état d'embonpoint des poissons, suivant la formule :  $K = 100 * (P) / (L^3)$  [4]

### Relation taille poids

La relation entre la taille et le poids permet d'apprécier la structure de la population exploitée c'est-à-dire de déterminer le coefficient d'allométrie qui donne généralement des informations sur les variations pondérales d'un individu par rapport à sa taille [12].

La courbe de régression du type  $P = a * L^b$  a été obtenues à partir des couples taille-poids par la relation non linéaire (puissance) sous la forme suivante: [16]

$$MT = a * L^b$$

Où MT: masse totale du poisson exprimée en gramme; a: constante d'allométrie; LT: longueur du poisson en cm ; b: coefficient d'allométrie.

Le coefficient d'allométrie permet de se renseigner sur la proportionnalité des croissances pondérale et linéaire :

- Si  $b = 3$ , alors il y'a isométrie de croissance (la densité spécifique de l'animal ne change pas) ;
- Si  $b > 3$ , alors l'allométrie est majorante. Le poisson grossit plus vite qu'il ne grandit ;
- Si  $b < 3$ , alors l'allométrie est minorante. Le poisson grandit plus vite qu'il ne grossit. [19]

### Facteur de condition ou Coefficient de condition de Fulton

Le facteur de condition (Kc) renseigne sur le bien-être de la population pendant les différentes étapes du cycle de vie [20]. C'est un indicateur de l'état physiologique du poisson en rapport avec son embonpoint [26] Il témoigne également de l'interaction qui existe entre les facteurs biotiques, abiotiques et l'état physiologique du poisson. La valeur du facteur de condition pour chacun des spécimens a été calculée en utilisant la longueur Totale du poisson dans l'expression suivante: [19]

Ainsi, plus un poisson est lourd pour une longueur donnée, plus son coefficient de condition est élevé.

$$Kc = (MT / LT^3) \times 100$$

Kc: Facteur de condition ; MT: masse totale du poisson (g); LT: Longueur Totale du poisson (cm) ; 3 : Coefficient d'allométrie.

## Résultats et Discussion

### 3.1 Relation Longueur-Poids et paramètres des équations de croissance

Les espèces dominantes de la zone de Manono sont *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) ; *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822); *Synodontis greshoffy* (Schilthuis , 1891) ; *Schilbe intermedium* (Rüppell, 1832) et *Brycinus imberi* ( Peters, 1822) au total 360 spécimens repartis en trois ordres, cinq familles, cinq genres et cinq espèces ont été soumis à l'étude de la relation longueur-poids (RLP) et de facteur de condition (K).

Le Tableau 1 ci-dessous donne les caractéristiques morphométriques des spécimens étudiés des deux lacs ainsi que leurs paramètres des équations de croissance. [11]

Les longueurs totales des spécimens varient de 5,00 cm à 23,00 Cm chez *O. niloticus* du Lukushi et de 5 cm

chez *S. greshoffi* à 23,00 cm chez *C. gariepinus* au lac Muyumba avec des poids qui varient entre 1,541 g et 235 g chez *O. niloticus* du lac Lukushi et entre 1,834 g chez *S. greshoffi* et 135,00 g chez *O. niloticus* du lac Muyumba. Les coefficients de corrélation ( $R^2$ ) de la relation Longueur- Poids étaient tous positifs et significatifs pour toutes les espèces étudiées variant entre 0,7569 pour *C. gariepinus* et 0,9745 pour *S. greshoffi* au Lac Muyumba tandis qu'au lac Lukushi ils varient entre 0,4796 chez *S. greshoffi* et 0,9961 chez *S. intermidius*. L'intercepte  $a$  varie de 0,0074 chez *C. gariepinus* à 1,2743 pour *S. greshoffi* au lac Lukushi, cependant la valeur de  $a$  oscille entre 0,0012 chez *S. intermidius* et 0,2244 chez *C. griepinus* du lac Muyumba. Les valeurs positives et élevées des coefficients de détermination obtenues ( $R^2 = 0.82439 \pm 0,11543$ ) pour l'ensemble des espèces dans cette étude, suggèrent que la croissance en taille induit une augmentation de poids chez les poissons dans la zone stannifère du Katanga. Les corrélations entre la longueur et le poids des spécimens sont très fortes avec des coefficients de détermination qui vont de 0,7212 à 0,991.

Tableau 1 : Paramètres de la relation Longueur – Poids des cinq espèces

Lac	Espèces	N	Longueur (Cm)			Poids(g)			a	b	Croissance
			Min	Moy	Max	Min	Moy	Max			
Lukushi	<i>Clarias gariepinus</i> .	22	10.3	14.86	22.5	7.216	32.3	93.153	0.0074	3.0345	A+
	<i>Oreochromis niloticus</i>	77	5	13.83	23.1	1.541	55.547	235	0.194	2.5278	A-
	<i>Brycinus imberi</i>	9	6	9.43	11.6	2.567	9.636	13.735	0.0544	2.2857	A-
	<i>Schilbe intermidius</i>	5	7	11.8	13.5	5.897	24.746	37.94	0.0219	2.8848	A-
	<i>Synodonthis greshoffi</i>	17	9.5	13.471	14.9	5.571	14.928	49.5	1.2743	0.9285	A-
Muyumba	<i>Clarias gariepinus</i> .	29	9.5	15.71	23	12.804	53.47	104	0.2244	1.9624	A-
	<i>Oreochromis niloticus</i>	25	12.9	158.56	19.4	31.714	68.44	135.4	0.0071	3.3256	A+
	<i>Brycinus imberi</i>	8	12	14.78	17	30.303	60.02	90.974	0.0064	3.3728	A+
	<i>Schilbe intermidius</i>	156	7.4	12.16	18.5	2.61	18.29	79.707	0.0012	3.749	A+
	<i>Synodonthis greshoffi</i>	12	5	10.04	12	1.843	13.92	24.909	0.0141	2.9156	A-

A+ : allométrie positive A- : Allométrie négative ; N : effectif de l'échantillon

Les régressions longueur - poids, appliquées ici, ont donné des coefficients d'allométrie  $b$  situés entre 0,9285 et 3,0345 au lac Lukushi tandis qu'à Muyumba ils varient de 1,9624 à 3,749. Les allométries sont majorantes ( $b > 3$ ) pour *O. niloticus*, *B. imberi* et *S. intermidius* au lac Muyumba tandis qu'au lac Lukushi la situation est inverse ( $b < 3$ ). Ces valeurs de  $b$  ( $2,33 \pm 0,58$  à Lukushi et  $3,065 \pm 0,919$  à Muyumba) trouvées dans cette étude sont proches aux valeurs typiques de 2,5 à 3,5 [13] avec 60% d'espèces ayant une croissance allométrique positive au lac Muyumba tandis qu'au lac Lukushi 80 % de ces espèces ont une croissance allométrique négative. Le coefficient d'allométrie de *O. niloticus* obtenue dans cette étude, suggère que cette espèce a une croissance de type allométrique négative au lac Lukushi (2,5278) et une croissance de type allométrique positive (3,3256) au Lac Muyumba. Contrairement à ce résultat, [22] ont rapporté sur *O. niloticus* dans une ferme piscicole de Sanni Luba Ijebu-Ode, dans l'État d'Ogun au Nigeria, une forme de croissance isométrique ( $b = 3,10$ ). Tandis que [17] ont trouvé une croissance allométrique négative ( $b=2,856$ ) sur *O. niloticus* dans le bassin de la rivière Coofu au Bénin. Ainsi, les résultats suggèrent que *O. niloticus* est dans un état de « bien-être » physiologique meilleur au lac Muyumba qu'au lac Lukushi pendant la période de l'étude. La faible valeur du coefficient d'allométrie de *O niloticus* observée pourrait être due aux perturbations liées aux mauvaises conditions environnementales. [3]

### 3.2 Facteur de Condition K

Quant au facteur de condition moyen  $K$ , il varie de  $0,812 \pm 0,32$  à  $1,716 \pm 0,212$  au lac Lukushi et de  $0,43 \pm 0,007$  à  $1,75 \pm 0,12$  au lac Muyumba avec des coefficients de détermination  $R^2$  qui varient de 0,4796 à 0,9961 au lac Lukushi et de 0,7569 à 0,9745 au lac Muyumba.

Le tableau 2 présente les équations de régression et les facteurs de condition des espèces étudiées. Les résultats du Tableau 3, nous indiquent que les trois espèces des cinq étudiées *O. niloticus*, *B. imberi* et *S. intermidius* présentent un embonpoint au lac Lukushi ( $K > 1$ ) contrairement à *C. gariepinus*. et *S. greshoffi* ( $K < 1$ ). Tandis qu'au lac Muyumba c'est *C. gariepinus*., *B. imberi* et *S. greshoffi* ont une valeur de  $K > 1$  contrairement à *O. niloticus* et *S. intermidius*. [2] considère qu'un coefficient  $K$  inférieur à 1 suggère que les

poissons sont dans de mauvaises conditions et un coefficient supérieur à 1 suppose le contraire. Dès lors, l'on peut admettre que les espèces *O. niloticus*, *S. intermidius* ainsi que *B. imberi* étaient au moment de l'étude, en bonnes conditions étant donné que cette période coïncide avec leur période de reproduction qui débute au mois d'août. L'état de méforme de ces espèces observé au lac Muyumba exprime la pression de pêche subie par ces espèces qui représentent 73,05 % des captures. Ainsi, même si le poisson se nourrit, l'énergie serait donc prioritairement utilisée pour activer les mécanismes de lutte contre les stress au détriment de la croissance. Ces résultats corroborent ceux trouvés dans le réservoir de Samadeni par [19] et [21] dans le lac sahélien de Higa.

Tableau 2 : Equations de régression et Facteur de condition des cinq espèces

Lac	Espèces	N	Equation de régression	R <sup>2</sup>	K	
					Moy	Ec
Lukushi	<i>Clarias sp.</i>	22	$P = 0,0074 * LT^3,0345$	0.7203	0.886	0.319
	<i>Oreochromis niloticus</i>	77	$P = 0,194 * LT^2,5278$	0.765	1.716	0.212
	<i>Brycinus imberi</i>	9	$P = 0,0544 * LT^2,2857$	0.844	1.376	0.198
	<i>Schilbe intermidius</i>	5	$P = 0,0219 * LT^2,8848$	0.9961	1.664	0.0764
	<i>Synodonthis greshoffi</i>	17	$P = 1,2743 * LT^0,9285$	0.4796	0.812	0.232
Muyumba	<i>clarias sp.</i>	29	$P = 0,2244 * LT^1,9624$	0.7569	1.4	0.39
	<i>Oreochromis niloticus</i>	25	$P = 0,0071 * LT^3,3256$	0.9214	0.43	0.07
	<i>Brycinus imberi</i>	8	$P = 0,0064 * LT^3,3728$	0.9631	1.75	0.12
	<i>Schilbe intermidius</i>	156	$P = 0,0012 * LT^3,749$	0.823	0.83	0.29
	<i>Synodonthis greshoffi</i>	12	$P = 0,0141 * LT^2,9156$	0.9745	1.18	0.14

ppoids total; LT: longueur Totale; K: facteur de condition; R2: coefficient de régression

### 1.3 La Croissance

La croissance est allométrique positive pour *O. niloticus*, *B.imberi* et *S. intermidius* au lac Muyumba tandis qu'elle est allométrique négative au lac Lukushi pour les mêmes espèces. Contrairement aux autres espèces, *C. gariepinus* présente une situation inverse et *S. greshoffi* présente une croissance allométrique négative aux deux sites. Une exposition chronique à des stressseurs entraîne une diminution des performances de croissance, de reproduction et de résistance aux maladies. La faible croissance observée chez *O. niloticus* se justifierait par une exposition chronique aux facteurs environnementaux défavorables qui peuvent affecter les fonctions biologiques comme la croissance et la reproduction [1]. Le tableau 3 présente les résultats sur la croissance des cinq espèces étudiées dans les deux lacs.

Tableau 3 : Modèle de croissance selon les lacs des cinq espèces

Espèces	b		Croissance	
	Lac Lukushi	Lac Muyumba	Lac Lukushi	Lac Muyumba
<i>Clarias gariepinus</i>	3.0345	1.9624	AP	AN
<i>Oreochromis niloticus</i>	2.5278	3.3256	AN	AP
<i>Brycinus imberi</i>	2.2857	3.3728	AN	AP
<i>Schilbe intermidius</i>	2.8848	3.749	AN	AP
<i>Synodonthis greshoffi</i>	0.9285	2.9156	AN	AP

AP: allométrie positive, AN: allométrie négative

D'après le tableau 3, la croissance des poissons est meilleure au lac Muyumba et moins intéressante au lac Lukushi pour toutes les espèces hormis le *C. gariepinus*. Ceci constituerait un indice incontestable de la dégradation des conditions environnementales dans ce lac où des polluants et drainage miniers acides sont permanents.

## Conclusion

Il ressort de la présente étude sur la relation longueur – poids de cinq espèces dominantes dans les lacs Lukushi et Muyumba situés dans la zone stannifère du Katanga que les paramètres morphobiométriques, les paramètres de croissance et le facteur de condition K des espèces capturées dans le lac Muyumba (non pollué) sont assez bonnes, tandis que dans le Lac Lukushi (pollué), ils sont moins performants. Cette différence de modèle de croissance entre les deux lacs, traduit une réponse au stress chronique dus à la pollution des eaux par les résidus miniers subi par les poissons. Les impacts négatifs de l'exploitation minière industrielle de minerais stannifère de Manono continuent à se manifester plusieurs décennies après cessation d'activités. Par conséquent nous concluons que l'exploitation industrielle des minerais stannifères aura un impact négatif sur l'ichtyofaune de la région et que les décideurs doivent veiller à ce que l'exploitation minière industrielle dans cette région soit respectueuse de la protection de l'environnement.

## Bibliographie

- [1] AMOUSSOU Toundji Olivier, TOGUYENI Aboubacar, IMOROU TOKO Ibrahim, CHIKOU Antoine et YOUSAO ABDU KARIM Issaka, 2016. Caractéristiques biologiques et zootechniques des tilapias africains *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) et *Sarotherodon melanotheron* Rüppell, 1852 : une revue. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10(4): 1869-1887, August 2016
- [2] Baby F, Tharian J, Abraham KM, Ramprasanth MR, Ali A. & Ranghavan R : 2011. Length-weight relationship and condition factor of an endemic stone sucker, *Garra gotyla stenorhynchus* (Jerdon, 1849) from two opposite flowing rivers in southern Western Ghats. *Journal of threatened taxa* 3(6): 1851—1855.
- [3] Bagenal TB, Tesch AT. 1978. *Conditions and Growth Patterns in Fresh Water Habitats*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 75—89.
- [4] Banza Lubaba Nkulu Célestin, 2024. Impacts de l'exploitation minière sur l'Environnement et Santé dans le Grand Katanga en République Démocratique du Congo. *Royal Institute for International Relations* 5 June 2024, Egmont, Brussels – Belgium
- [5] Bérubé Isabelle et Maria Del Rosario Ortiz Quijano. *Extraction de métaux pour les nouvelles technologies, biodiversité et justice environnementale*. Mémoire de Maîtrise en Environnement. Centre Universitaire de formation en environnement et développement durable, 2017.
- [6] Bruneau Jean-Claude, Mukalayi Kahata. Les paysages urbains de Manono (Zaire). In: *Cahiers d'outre-mer*. N° 140 - 35e année, Octobre-décembre 1982. pp. 363-374; doi : <https://doi.org/10.3406/caoum.1982.3037>
- [7] [https://www.persee.fr/doc/caoum\\_0373-5834\\_1982\\_num\\_35\\_140\\_3037](https://www.persee.fr/doc/caoum_0373-5834_1982_num_35_140_3037)
- [8] CADASTRE MINIER, 2023. REGISTRE DES DROITS MINIERS ET DE CARRIERES AU 31 AOUT 2023. République Démocratique du Congo
- [9] Calander KD: 1969. *Handbook of Freshwater Fishery Biology*. The Iowa State Univ. Press, Ames, IA Iowa State I: 752 pp.
- [10] Chocha Manda Auguste, Katemo Manda Bauchet, Abwe Emmanuel, 2015. Les poissons du Katanga (Kasai, Dépression de la Kamalondo, Lufira et Luapula-Moero). Université de Lubumbashi, Faculté de Sciences Agronomiques, Unité de Recherche en aquaculture.
- [11] FAO, 2018. Profils des pêches et de l'aquaculture par pays: La République Démocratique Du Congo
- [12] Fréon P., 1991. Les poissons pélagiques côtiers au Sénégal: relations taille-poids des principales espèces d'intérêt commercial. *ORSTOM Fonds Documentaire*, 3/53,4- Cote 6 b, 171p.
- [13] Froese R: 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations.
- [14] KALIBU MINO KAHOZI, 2002. Informations générales sur les principales zones de pêche. République Démocratique du Congo, Ministère de l'agriculture, Pêche et Elevage Service National de promotion et de Développement de la pêche
- [15] Le Cren ED. 1951. The length-weight relationships and seasonal cycle in gonad weight and condition in perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 20 (2): 201 – 219.
- [16] Lederoun D, Lalèyè P, Vreven E, Vandewalle P. 2012. Length-weight and length-length relationships and condition factors for 30 actinopterygian fish from the Mono basin (Benin and Togo, West Africa). *Cybiurn* 40 (4) : 267—274.
- [17] Loukou G.A., Etchian A.O., Tia C.B. & Sylla S. (2023). Relation Taille-Poids et Facteur de Condition de l'espèce *Elops lacerta* (Elopiformes : Elopidae) Valenciennes, 1847 dans le Golfe de Guinée, Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest. *European Scientific Journal*, ESJ, 19 (27), 264. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n27.p.264>
- [18] MINOUNGOU Mahamoudou, OUEDRAOGO Raymond, DA Nomwine, OUEDA Adama, 2020. Relation longueur-poids et facteur de condition de sept espèces de poisson du réservoir de Samandeni avant son ouverture à la pêche (Burkina Faso). *Journal of Applied*

Biosciences 151: 15559 – 15572

- [19] N'Guessan, Y., Diaha, N. C., Amande, M. J., Angui, K. J-P., Abekan, E., Assan N. F. & N'Da K., 2017. Sex-ratio, stades de maturité, taille de première maturité et facteur de condition de *Canthidermis maculata* capturé dans l'océan Atlantique Est. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 11(6), 2876-2886.
- [20] Ouédraogo R, Soara A, Zerbo H. 2015. Caractérisation du peuplement piscicole du réservoir de Boalin, Ziniaré (Burkina Faso) deux décennies après l'introduction de *Heterotis niloticus*. Int. J. Biol. Chem. Sci., 9(5): 2488-2499. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.20>.
- [21] Paugy D, Lévêque C, Teugels GG. 2003. Poissons d'Eaux Douces et Saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. IRD: Paris, France.
- [22] Projet de Bonne Gouvernance dans le Secteur Minier comme Facteur de Croissance (PROMINES) 2015. Évaluation de l'impact du Passif Environnemental Au niveau des Provinces du Katanga et des deux Kasai en République Démocratique du Congo. Volume I Etude d'Impacts Environnemental et Social, Rapport Définitif.
- [23] S. Kashimbo Kalala, B. Mongoli Mwanga, P. Kazadi Kanyama, and M. Mpundu Mubemba, 2015. Influence d'une usine hydrométallurgique en activité sur la qualité des eaux du canal Naviundu: Cas de l'usine Chemical of Africa (CHEMAF) Lubumbashi/Katanga, RD. Congo, International Journal of Innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol. 16 No. 2 Jul., pp. 433-447
- [24] SNC-LAVALIN International, 2003. Etude sur la restauration des mines de cuivre et de cobalt en République Démocratique du Congo, Rapport préliminaire M-6708, (603082), Montréal, p222.
- [25] Tabassum, S., Elahi, N. & Baloch, W. A., 2013. Comparison of Condition factor of the Ribbonfish *Trichiurus lepturus* (Linnaeus, 1758) and *Lepturacanthus savala* (Cuvier, 1829) from Karachi Coast, Pakistan. S
- [26] Thierry De Putter et Sophie Decrée. *Réserves géologiques de la RD Congo: chiffres et statistiques. In Conjonctures congolaises 2012. Politique, secteur minier et gestion des ressources naturelles en RD Congo. Cahiers Africains – Afrika Studies, n° 82, Editions L'Harmattan 5-7, 2013.*
- [27] Vreven E., A. Chocha Manda colleagues, 2012. Livre album fish of Katanga Fishes of Katanga v. 1.0 collected E.

# 2024



## Colloque-Formation Internationale

### Eau - Agriculture - Climat'2024

### Et Sécurité Alimentaire

### Ressources en Eau, Agriculture et Changement Climatique

10 au 15 Novembre 2024, Hammamet (Tunisie)

[www.jistee.org](http://www.jistee.org)



## Eau-Agriculture-Climat'2024

## Et Sécurité Alimentaire

'Ce qui compte c'est demain'

Pour plus d'informations veuillez contacter

Pr. Noureddine GAALOUJ

E-mail: [eauclimat@iresa.agrinet.tn](mailto:eauclimat@iresa.agrinet.tn)

[eauclimat@yahoo.com](mailto:eauclimat@yahoo.com)

**ASTEE Tunisie**  
 Association Scientifique et Technologique pour l'Eau et l'Environnement en Tunisie  
 الجمعية العلمية والتقنية للمياه والبيئة في تونس

L'Eau : Notre Métier  
 L'Environnement : Notre Vie  
 Le Climat : Notre Planète  
 Le Développement : Notre Objectif  
 La Formation : Notre Devoir  
 La Recherche : Notre Avenir



# Colloque-Formation Internationale (EAC'2024)

10 au 15 Novembre 2024, Hammamet (Tunisie)

## Eau - Agriculture - Climat'2024 Et Sécurité Alimentaire

# Ressources en Eau, Agriculture et Changement Climatique

[www.jistee.org](http://www.jistee.org)



Pour plus d'informations veuillez contacter

Pr. **Noureddine GAALOUL**

E-mail: [eauclimat@iresa.agrinet.tn](mailto:eauclimat@iresa.agrinet.tn)

[eauclimat@yahoo.com](mailto:eauclimat@yahoo.com)



International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET/JISTEE)

©2024 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V (iii), Issue 4 – December 2023 - [jistee.org/volume-iii-2023/](http://jistee.org/volume-iii-2023/)

# 2024

13 au 14 Novembre 2024

Hammamet (Tunisie)

## Formation Internationale

# Eau - Agriculture - Climat'2024

*Cinq modules au choix des formations au profit des Doctorants et chercheurs seront animés par des experts internationaux:*



[eauclimat@yahoo.com](mailto:eauclimat@yahoo.com)  
[eauclimat@iresa.agrinet.tn](mailto:eauclimat@iresa.agrinet.tn)

**Module 1 : Modélisation des Ressources en Eaux (Eaux de Surface ; Eaux Souterraines et Hydro chimie des eaux)**

**Module 2 : Système d'Information Géographique (SIG) et Télédétection**

**Module 3 : Modélisation Hydro-Agro-Climatologique SWAT**

**Module 4: Intelligence Artificielle**

**Module 5: Smart Agriculture: L'agriculture intelligente face au climat**

**Module 6: Anglais Scientifique; Comprendre et communiquer**



Géosciences pour une Terre durable



Institut de Recherche pour le Développement FRANCE



ASTEE Tunisie  
L'Eau - Notre Météor  
L'Environnement - Notre Vie  
Le Climat - Notre Planète  
Développement - Notre Objectif  
La Formation - Notre Devoir  
La Recherche - Notre Avenir



**International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)**

*Journal International Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (JISTEE)*

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688

**Open Access**

09 Volumes, 30 Issues, (427 Papers) and 1 Book



**Book (01):** *Why green water saving is not fully rewarded by farmers in mount kenya region*

*A research frontier of pure: applied sciences and engineering. 120 pages. August 2022*

**Volume (ix): 4 Issues (25 Papers) Water -Agriculture-Climate'2024**

**Issue 1 – July 2024 (6 Papers)** *Water-Agriculture and Climate Change*

**Issue 2 – Octobre 2024 (11 Papers)** *Water, Agriculture, Climate Change and Food Security Qualitative and quantitative characterization of water resources*

**Issue 3 – Novembre 2024 (4 Papers):** *Water, Agriculture, Climate Change and Food Security Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing*

**Issue 4 –Decembre 2024 (5 Papers)** *Water, Agriculture, Climate Change and Food Security: Water-Agriculture and Food Security and Climate Change*

**Volume (viii): 4 Issues (27 Papers) Water -Drought-Climate'2023**

**Issue 1 – March 2023 (6 Papers)** *Water Scarcity, Rising Temperatures. Facing Climate Change, from the Fight to Adaptation?*

**Issue 2 – December 2023 (11 Papers)** *Water -Drought-Climate'2023 Integrated Water Resources Management*

**Issue 3 – December 2023 (6 Papers)** *Water -Drought-Climate'2023 Reuse of treated wastewater in agriculture*

**Issue 4 – December 2023 (7 Papers)** *Water -Drought-Climate'2023 Climate Change and Adaptation*

**Volume (vii): 4 Issues (32 Papers) Water -Health-Climate'2022**

**Issue 1 – March 2022 (7 Papers)** *Climate change: What effects on our health?*

**Issue 2 – June 2022 (10 Papers)** *Impacts of Climate Change on Water, Ecosystems and Human Health*

**Issue 3 – September 2022 (7 Papers)** *Water, Climate, Health, Disparities: Solutions*

**Issue 4 – December 2022 (8 Papers)** *Climate Changes Health: Water Quality and Accessibility*

**Volume (vi): 4 Issues (31 Papers) Water -Agriculture-Climate'2021**

**Issue 1 – April 2021 (11 Papers)** *Faced with climate and food issues: Reinventing Water-Agriculture-Climate relations*

**Issue 2 – June 2021 (6 Papers)** *Climate Change, Water, Agriculture - What trajectories?*

**Issue 3 – September 2021 (6 Papers)** *Climate Change, Water and Agriculture Towards Resilient Systems*

**Issue 4 – December 2021(8 Papers)** *Climate Change, Water and Agriculture: What Strategies?*

**Volume (v): 2 Issues (27 Papers) Water -Climate'2020**

**Issue 1 – September 2020 (14 Papers)** *Water Resources and Climate Change.*

**Issue 2 – Décembre 2020 (13 Papers)** *Integrated Water Resources Management and Climate Change*

**Volume (iv): 2 Issues (68 Papers) Water -Energy-Climate'2019**

**Issue 1 – December 2019 (56 Papers)** *Integrated Water Resources Management*

**Issue 2 – December 2019 (12 Papers)** *Renewable Energies and climate change*

**Volume (iii): 3 Issues (103 Papers) Water -Environnement-Climate'2018**

**Issue 1 – April 2018 (62 Papers)** *Water Resources Management*

**Issue 2 – August 2018 (34 Papers)** *Environmental Earth Sciences*

**Volume (ii): 5 Issues (53 Papers) Water -Society-Climate'2017**

**Issue 1 – February 2017 (17 Papers)** *Qualitative and quantitative characterization of water resources.*

**Issue 2 – April 2017 (8 Papers)** *Assessment of water resources under pressure from humanity and climate change*

**Issue 3 – June 2017 (9 Papers)** *Vulnerability of Water Resources to Climate Change.*

**Issue 4 – August 2017(8 Papers)** *Modeling the impact of anthropogenic and climatic changes on water resources*

**Issue 5 – October 2017(11 Papers)** *Numerical Modeling in Hydraulics, Hydrology and Hydrogeology*

**Volume (i): 3 Issues (36 Papers) Water -Climate'2014**

**Issue 1 – April 2014 (17 Papers)** *Surface Water Resources in the Mediterranean Region.*

**Issue 2 – August 2014 (8 Papers):** *Ground Water Resources in the Mediterranean Region*

**Issue 3 – December 2014 (11 Papers)** *Climate Change in the Mediterranean Region*

Copyright © 2024 – Jistee Tous droits réservés

International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET/JISTEE)

©2024 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V (viii), Issue 4 –December 2023 - [jistee.org/volume-viii-2023/](http://jistee.org/volume-viii-2023/)

# INTERNATIONAL JOURNAL

## *Water Sciences and Environment Technologies*

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688  
Open Access Journal

*Volume (ix) - Issue 2 – October 2024*

**W**ater - **A**griculture - **C**limate'2024



**Water, Agriculture, Climate Change  
and Food Security**

*Caractérisation qualitative et quantitative des ressources en eau*

**Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul**

*Published by:*

**Scientific and Technical Association for Water and  
the Environment in Tunisia (*ASTEETunisie*)**