

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

| Open Access Journal|

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

Volume (x) - Issue 4– December 2025

W_{ater} - **B**_{iodiversity} - **C**_{limate}'2025



Water-Biodiversity-Climate:

*Sustainable Qualitative and quantitative
characterization of water resources*

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

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

International Scientific Committee (ISC-WBC'2025)

Nouredine Gaaloul	Prof. University of Carthage – IRESA - INRGREF (Tunisia)
Hamadi Habaieb	Prof. University of Carthage – IRESA - INAT (Tunisia)
Zouhaier Hlaoui	Prof. University of Tunis - Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis (Tunisia)
Adel Kharroubi	Prof. University of Gabès – ISSTEG (Tunisia)
Rachid Boukchicha	M.Conf. University of Gabès – ISSTEG (Tunisia)
Nouredine Hamdi	Prof. Université of Gabès – ISSTEG (Tunisia)
Taoufik Hermassi	M.Conf. University of Carthage – IRESA - INRGREF (Tunisia)
Mohamed Habib Sellami	M.Conf. University of Jendouba – IRESA- ESIM (Tunisia)
Hechmi Belaid	M. Assistant. University of Jendouba -IRESA- ESIM (Tunisia)
Rim Katlane	M.Conf. University of Manouba - Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités (Tunisia)
Ibrahima Amadou Traoré	Expert Hydrogeologist
Mohamed Meddi	Prof. ENSH, (Algeria)
Azzedine Hani	Prof. Univ. Annaba (Algeria)
Larbi Djabri	Prof. Univ. Annaba (Algeria)
Salah Eddine Ali Rahmani	Prof. University Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Algeria)
Saadane Djorfi	Prof. University of Annaba (Algeria)
Mohammed Achite	Prof. University of Chlef (Algeria)
Abdelhalim Yabiaoui	Prof. University of Bechar (Algeria)
Mohamed Bessenasse	Prof. University of Saad Dahlab- Blida (Algeria)
Benabadi Noury	Prof. University of Tlemcen (Algeria)
Abdessamad Merzouk	Prof. University of Tlemcen (Algeria)
Beloulou Laroussi	Prof. University Badji Mokhtar, Annaba (Algeria)
Abdelhalim Yabiaoui	M.Conf. Univ. Bechar (Algeria)
Guergez Saadia	M.Conf. University of Biskra (Algeria)
Gnendouz Abdelhamid	M.Conf. University of Blida1 (Algeria)
Khouldia Wacila	M.Conf. University of Souk-Abras (Algeria)
Belkacem Bekkoussa	M.Conf. University Mustapha Stambouli de Mascara (Algeria)
Ali Essahlaoui	Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)
El Ouali Abdelbadi	Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)
Abdellah El Hmaidi	Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)
Imad Manssouri	Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)
Abdelmajid Moumen	Prof. University Nadour (Morocco)
Mhamed Anyay	Prof. University of Fès (Morocco)
Abdelaziz Abdallaoui	Prof. University Moulay Ismail (Morocco)
Nadia Lablou	M.Conf. University Mohamed V Rabat (Morocco)
Amadou Thierno Gaye	Prof. University of Cheikh Anta Diop, Dakar, (Senegal)
Sousou Sambou	Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Senegal)
Diop Ngom Fiatou	Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Senegal)
Abdoulaye Faty	Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST ((Senegal)
Soro Nagnin	Prof. UFR STRM (Ivory Coast)
Gnamba Franck Maxime	Prof. UFR STRM (Ivory Coast)
Soro Nagnin	Prof. UFR STRM (Ivory Coast))
Cash Ngonzo Lwesi	Prof. Univ. Dem. Rep. (Congo)
Koussonbon A. Leonard	Prof. FLLAC/ UAC (Congo)
Koumassi Dègla Héré	Prof. LACEEDE/ UAC (Benin)
Hamma Yacouba	Prof. 2iE (Burkina Faso)
Harouna Karambiri	Prof. 2iE (Burkina Faso)
Lienou Gaston	Prof. Univ. Yaoundé (Cameroun)
Gnandi Kissao	Prof. Univ. Lomé (Togo)
Hamadoun Bokar	Prof. Univ. ENI-abt (Mali)
Salina Sanou	Pan African Climate Justice Alliance (Kenya)
Saeid Eslamian	Prof. University of. Isfahan (Iran)
Amadou Gaye	Prof. CR4D (Ethiopia)
Richard Anyah	Prof. CR4D (Ethiopia)
Benjamin Lamptey	Prof. CR4D (Ethiopia)
Aqeel Al-Adili	Prof. Univ. Technology (Iraq)
Moumtaz Razack	Prof. University of Poitiers (France)
Lucila Candella	Prof. Univ. Catalonia (Spain)
Fotis K. Plakias	Prof. Univ. Thrace (Greece)
Andreas Kallioras	Prof. Univ. Athens (Greece)
Christoph Schüth	Prof. Tech.Univ. Darmstrad (Germany)
Jean-François Delège	Prof. University of Liège (Belgium)

Preface



L'eau est le principal vecteur par lequel les effets du changement climatique se feront sentir, et la clé de la réussite des stratégies d'adaptation. On observe d'ores et déjà des modifications des systèmes d'eau douce un peu partout dans le monde, et les risques liés à l'eau – pénurie, excès, manque de fiabilité des approvisionnements ou mauvaise qualité – devraient aller en s'amplifiant. Ces modifications, qui peuvent être progressives ou brutales, risquent de compromettre la sécurité de l'eau à long terme et de rendre l'adaptation de plus en plus coûteuse pour les gouvernements à mesure que le temps passe.

La biodiversité fournit des biens et services indispensables à la fois pour s'adapter aux effets du changement climatique (les zones humides constituent une protection naturelle contre les inondations, la végétation permet d'améliorer localement la quantité et la qualité de l'eau, les espaces verts permettent d'améliorer le micro climat et la qualité de l'air dans les villes, etc.) et pour atténuer les changements climatiques, grâce notamment à l'absorption de CO₂ par les écosystèmes marins et terrestres.

L'augmentation des risques liés à l'eau et l'incertitude grandissante qui entoure la situation future ne font qu'amplifier les défis à relever en matière de sécurité de l'eau et compliquer les décisions de planification, de gestion et d'investissement dans le domaine de l'eau. Pour s'adapter à la nouvelle situation, il faudra des stratégies d'investissement mieux étayées et une gouvernance adaptative de l'eau tenant compte de la variabilité du climat et limitant le plus possible les problèmes potentiellement coûteux d'inadéquation entre les hydrosystèmes et le climat futur.

Le changement climatique est en passe de remodeler l'avenir dans le domaine de l'eau. Il aggrave les tensions existantes et complique la planification, la gestion et l'investissement futurs dans les infrastructures de l'eau. Pour en limiter les conséquences néfastes et le coût, et pour exploiter les opportunités éventuelles, il faudra tenir compte de cette nouvelle donne, autrement dit s'adapter. L'adaptation exige de la souplesse, or le domaine de l'eau se caractérise par des infrastructures à longue durée de vie dont les coûts irrécupérables sont élevés. Une vision prospective est indispensable, or les projections climatiques relatives aux principaux paramètres concernant l'eau sont peu fiables à l'échelle locale. Une gouvernance adaptative de l'eau est nécessaire, or l'inertie et une gouvernance médiocre sont davantage la norme que l'exception dans le domaine de l'eau.

La biodiversité – la variété de la vie sur Terre – nous fournit des services écosystémiques essentiels à la santé humaine, au bien-être et à l'économie. Pourtant, la biodiversité terrestre, marine et d'eau douce décline rapidement, menaçant sociétés et économies.

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^{Tunis})

www.jistee.org

Preface



W

ater is the primary channel through which the effects of climate change

will be felt and the key to successful adaptation strategies. Changes in freshwater systems are already occurring around the world, and water-related risks—scarcity, excess, unreliable supply, or poor quality—are expected to increase.

These changes, which can be gradual or abrupt, risk compromising long-term

water security and making adaptation increasingly costly for governments over time.

Biodiversity provides essential goods and services both for adapting to the effects of climate change (wetlands provide natural protection against flooding, vegetation helps improve the quantity and quality of water locally, green spaces help improve the microclimate and air quality in cities, etc.) and for mitigating climate change, particularly through the absorption of CO₂ by marine and terrestrial ecosystems.

Rising water risks and growing uncertainty about the future only amplify water security challenges and complicate water planning, management, and investment decisions. Adapting to the new situation will require better-informed investment strategies and adaptive water governance that takes into account climate variability and minimizes potentially costly mismatches between hydrosystems and the future climate.

Climate change is reshaping the future of water. It is exacerbating existing tensions and complicating future planning, management, and investment in water infrastructure. Limiting adverse impacts and costs, and seizing potential opportunities, will require adapting to this new reality. Adaptation requires flexibility, and the water sector is characterized by long-lived infrastructure with high sunk costs. A forward-looking approach is essential, and climate projections for key water parameters are unreliable at the local level. Adaptive water governance is needed, and inertia and poor governance are more the norm than the exception in the water sector.

Biodiversity – the variety of life on Earth – provides us with ecosystem services vital for human health, well-being and economies. Yet, terrestrial, marine and freshwater biodiversity is declining rapidly, threatening societies and economies.

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-Tunisie)

www.iistee.org



International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)
Journal International Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (JISTEE)

www.iistee.org

|Open Access Journal|

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

10 Volumes, 35 Issues, (433 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 (x): 4 Issues (33 Papers) Water -Biodiversity-Climate'2025

Issue 1 – March 2025 (10 Papers) *Water Biodiversity and Climate Change*

Issue 2 – October 2025 (6 Papers) *Water-Biodiversity-Climate: Water resources modeling uses Geographic Information System*

Issue 3 – November 2025 (7 Papers) *Water-Biodiversity-Climate: Biodiversity, Sustainable Water Security and Climate Change*

Issue 4 – December 2025 (11 Papers) *Water-Biodiversity-Climate: Sustainable Qualitative and quantitative characterization of water resources*

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 (10 Papers) *Water, Agriculture, Climate Change and Food Security Qualitative and quantitative characterization of water resources*

Issue 4 – 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 4 – 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 4 – 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 4 – 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 4 – 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 4 – December 2014 (11 Papers) *Climate Change in the Mediterranean Region*

Copyright © 2025 – Jistee Tous droits réservés



Table of Contents

- Fatima Bouchenak** (Université de Blida1 faculté SNV. Département de Biotechnologie et Agro-écologie. Blida – Algérie), *Mohamed Rouani, Chérifa Chaouia, Amina Mouas, Abdeslam Chadi.* Impact des eaux salines et des extraits des cyprès sur le maintien de la conductivité électrique du sol et la croissance de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) 6
- El-Araby Abdelaziz** (Ecole Supérieure de l'Éducation et de la Formation - Université Ibn Tofaïl – Kénitra- Maroc) La gestion sociale de l'eau, stress hydrique et variabilités climatiques - Cas des Oasis de Zagora (Maroc) 13
- Amor Boughdiri** (Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, Mateur – Tunisie) *Gouider Tibaoui and Oumayma Hidri.* Etude des comportements agro-physiologiques du bersim et de ray-grass sous l'effet d'un stress salin dans un contexte de changement climatique 22
- Belaïd Hechmi** (Université Jendouba, ESIM – IRESA. Route du Kef Medjez El Bab) Analyse de la relation entre la pluviométrie et les apports d'eau vers le barrage en contexte de sécheresse. Cas du barrage Siliana Tunisie 30
- Djouamaa Abdelkader** (Faculty of Natural Sciences and Life, University Mohamed Cherif Messaadia, Souk-Ahras, 41000, Algeria) , *Menaa Moeen; Touarfia Moundji, Maaz Mohamed Cherif and Ayari Adel.* Evaluation of physicochemical properties and potability of natural water sources in souk-ahras region, northeast Algeria 38
- Hiber Hafsa Imene** (Faculté de Médecine d'Oran - Algérie), *Toumi Houari and Gaouar lotfi zakaria.* Microplastiques dans les eaux souterraines : zones inexplorées et risques environnementaux et sanitaires 47
- Madiumba Bamba Arnold Jonas** (Université de Kinshasa (UNIKIN), RD Congo) *Dituba, N.G, Luvesi, N.C, Kintu, M.D, Kibungu, H.B, Birikomo, M.J, Kimwela, S.H, Lukuke, A.Y, Ntumba, J. and Raphael M. Tshimanga.* Analyse du potentiel énergétique des hydroliennes pour l'amélioration de la desserte en eau potable dans la ville de Kenge, RDC : Cas de la Rivière Bakali 54
- Assemian-Niango Sylvie** (Centre de Recherches Océanologiques Abidjan, Côte d'Ivoire) *Aka Charles Alberic and Konakou Jean Marie.* Étude des teneurs en éléments traces métalliques (plomb, arsenic et cadmium) des eaux de la lagune Ébrié dans quelques zones à fortes pressions urbaines : secteurs Plateau, Cocody, Koumassi et Zimbabwe 60
- Djabri Larbi** (Université Badji Mokhtar Annaba-Algérie-) *N. Gaaloul, F. Halimi, H. Bouguerra, A. Hani, S.E. Tachi, N. Boughrira and Kibiche A.* Processus de salinisation des eaux d'une lagune et d'un aquifère littoral en Algérie 69
- Dalel Makhoulfi** (University Mannouba – Tunisia) *Taoufik El Melki.* Contribution to the study of the influences of the jet stream on intense rainfall in tunisia: case studies. 80
- Dègla Hervé Koumassi** (Université d'Abomey Calavi, Cotonou République du Bénin) *Jean SODJII,* Enjeux de la gestion intégrée des ressources en eau dans la basse et moyenne vallée de l'Ouémé au Bénin 95

www.istee.org

[Open Access Journal]

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

Impact des eaux salines et des extraits des cyprès sur le maintien de la conductivité électrique du sol et la croissance de l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

Fatima Bouchenak¹, Mohamed Rouani², Chérifa Chaouia³, Amina Mouas⁴, Abdeslam Chadi⁵

1,2, 3, 4, 5, Université de Blida1 faculté SNV. Département de Biotechnologie et Agro-écologie. Route de soumaa BP270 Blida - Algérie

Résumé

Le présent travail est réalisé afin d'étudier les possibilités d'amélioration de la production et la protection de l'orge fourrager : *Hordeum vulgare* L. en atténuant les effets dépressifs de la salinité par l'application d'un extrait végétal. Pour répondre à cet objectif, un essai expérimental a été installé. Les plantules d'orge fourrager (variété founara) ont été cultivées selon un dispositif expérimental avec 5 répétitions et ont été irriguées en additionnant des eaux riches en sel 5 concentrations de NaCl (0, 2, 5, 8 et 10 g/l) avec ou sans pulvérisation foliaire de l'extrait liquide de *Cupressus sempervirens* L. à 0,5 mg/ml. Les résultats ont montré que tous les paramètres agronomiques conductivité électrique du sol, Poids frais, poids sec et physiologiques teneurs en pigments chlorophylliens ont été influencés négativement par la contrainte saline, au traitement T4 (10g/l de NaCl) avec une diminution significative de tous les paramètres. La détermination du degré de tolérance à la salinité a été réalisée à travers des paramètres et physiologiques. Comme les teneurs en proline et sucres solubles. Nous constatons que l'orge accumule la proline et sucres solubles en réponse à une concentration en sel de 10g/l. L'application foliaire de l'extrait hydroalcoolique de *Cupressus sempervirens* L. à renforcer significativement la tolérance de l'orge et a stimulé sa croissance et a amélioré de la conductivité électrique et la chimie du sol. Par conséquent, la pulvérisation foliaire de l'extrait liquide peut être considérée comme un moyen efficace en amélioration de la tolérance et la protection et préservation de l'orge fourrager : *Hordeum vulgare* L. variété founara à la contrainte saline.

Mots clés : Extrait hydroalcoolique, *Cupressus sempervirens* L. *Hordeum vulgare* L., eaux salines, tolérance

Impact of saline water and cypress extracts on the maintenance of soil electrical conductivity and the growth of barley

Abstract

The present work is carried out to study the possibilities of improving the production and protection of feed barley: *Hordeum vulgare* L. by mitigating the depressive effects of salinity through the application of a plant extract. To meet this objective, an experimental test was installed. The feed barley seedlings (founara variety) were cultivated according to an experimental setup with 5 repetitions and were irrigated by adding water rich in salt 5 concentrations of NaCl (0, 2, 5, 8 and 10 g/l) with or without foliar spraying of liquid extract of *Cupressus sempervirens* L. at 0.5 mg/ml. The results showed that all the agronomic parameters electrical conductivity of the soil, fresh weight, dry weight and physiological chlorophyll pigment contents were negatively influenced by saline stress, at treatment T4 (10g/l of NaCl) with a significant decrease in all the settings.

The determination of the degree of salinity tolerance was carried out through physiological and parameters. Like the proline and soluble sugar contents. We note that barley accumulates proline and soluble sugars in response to a salt concentration of 10g/l. Foliar application of the hydroalcoholic extract of *Cupressus sempervirens* L. significantly strengthened the tolerance of barley and stimulated its growth and improved electrical conductivity and soil chemistry. Therefore, foliar spraying of the liquid extract can be considered as an effective means of improving the tolerance and protection and preservation of feed barley: *Hordeum vulgare* L. variety founara to saline stress.

Keywords: Hydroalcoholic extract, *Cupressus sempervirens* L. *Hordeum vulgare* L., saline waters, tolerance.

¹ Corresponding author: bouchenakfatima56@gmail.com

I. INTRODUCTION

Les espèces fourragères sont confrontées aux différents stress abiotiques, notamment la sécheresse et la salinité qui sont des facteurs limitant de la production (1).. Les eaux riches en sel sont la principale cause de pertes de récoltes dans le monde, réduisant les rendements moyens de la plupart des grandes cultures (2).. La salinité est devenue une préoccupation réelle au cours des dernières années (3). En Algérie, 3,2 millions d'hectares de terres agricoles sont menacés par la salinité, notamment celles irriguées en zones arides. L'exploitation de ces terres est devenue inévitable pour répondre aux besoins croissants de la population en céréales (4). Pour augmenter la productivité agricole, ces dernières années, plusieurs intrants biologiques et molécules organiques (biostimulants végétaux) ont été développés et commercialisés afin d'atténuer les effets drastiques de la salinité et d'améliorer la croissance et la santé des plantes. De même, ces produits améliorent la structure et la qualité du sol, ils sont appelés produits stimulants ou biostimulants et fournissent habituellement des solutions innovantes pour la fertilisation du sol et la protection des cultures. ils jouent un rôle direct dans l'élimination des ROS générés par la salinité (5). Les cyprès sont des conifères, affilié à la famille des cupressacées, originaire des régions méditerranéennes. Les extraits de *Cupressus sempervirens* L. sont des métabolites secondaires ont plusieurs activités biologiques et la protection des plantes contre les effets nocifs de l'environnement comme la salinité et la sécheresse (6). L'objectif de ce travail consiste à mettre en évidence l'effet biostimulant des extraits hydroalcooliques de *cupressus sempervirens* L., en réalisant des essais de promotion sur la croissance d'une espèce fourragère *Hordeum vulgare* L. variété fouara cultivée sous contrainte saline.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le travail a été réalisé au niveau de la serre en polycarbonate (condition semi-contrôlées) du département de Biotechnologie et Agro-écologie à Université Blida I .

2.1. Matériel végétal

Notre étude est basée sur deux types de plantes : l'orge fourragère : *Hordeum vulgare* L variété El-fouara et les feuilles de cyprès vert : *Cupressus sempervirens*. Les semences l'orge variété el-fouara ont été fournies par le laboratoire de recherche de Biotechnologie et des productions végétales, leurs origines, elles proviennent d'institut de développement des grandes cultures (ITGC) de Sétif. Le choix cette espèce *Hordeum vulgare* L. var. El-fouara, est basée sur les caractéristiques agronomiques : paille courte ou moyenne, fort tallage, bonne productivité, tolérante au froid, à la sécheresse, qui est une espèce rustique cultivée dans les hauts plateaux algériens particulièrement, sur des sols arides (7). Les feuilles du *Cupressus sempervirens* ont été récoltées en avril 2021 au niveau du département des Biotechnologie de l'université de Blida I. Cette espèce a été identifiée par le Dr. DEGAÏCHIA Hoceme. Le matériel végétal a subi un séchage et un broyage avant conservation.

2.2.Méthode

2.2.1 Extraction hydroalcoolique

Les feuilles de *cupressus sempervirens* L. ont été séchées et broyées, puis la filtration s'est effectuée dans les solvants : Eau et Méthanol.La quantité 20g (poudre de feuilles) a été mis en contact avec 100ml de méthanol 70%(v/v). Après 24 heures d'agitation mécanique à température ambiante et à l'abri de la lumière, le mélange est filtré et évaporé à sec sous pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif à 56°C, afin d'obtenir l'extrait hydroalcoolique. Les résidus obtenus sont conservés à 4°C jusqu'à utilisation (8). Les flacons contenant les extraits sont couverts par un papier aluminium et conservés à 4°C (9).

2.2.2.Application des extraits hydroalcooliques sur les plantules d'orge arrosée avec une solution saline

Le dispositif expérimental adopté est le bloc avec 5 répétitions, faisant intervenir un facteur qui est le traitement salin avec ou sans application foliaire de l'extrait hydroalcoolique de *Cupressus sempervirens* L. Dans chaque bloc, chaque plot relatif à un niveau de salinité (0, 2 et 5,8 et 10 g/L NaCl) avec ou sans application foliaire de l'extrait végétal à 0,5mg/ml. Au total, l'essai expérimental a comporté 50 sacs boudins distribués sur les 2 blocs à raison de 25 sacs boudins /bloc, soient 25 plants/bloc et donc 50 plantes au total.

2.2.3. Paramètres mesures

A. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'un sol est considérée comme un indicateur de sa salinité, plus un sol est salin, plus il devient conductible. Pour déterminer la conductivité électrique d'un échantillon du sol, 10g de ce dernier sont ajoutés à 50 ml d'eau distillée, le mélange est agité pendant 30 mn puis laissé décanter. La mesure de la conductivité électrique (EC) est ensuite effectuée à l'aide d'un conductimètre (Adwa- AD3000) à partir du surnageant (10)

B. Poids Sec

La croissance en longueur de la partie aérienne et racinaire est évaluée après avoir récolté les plantules après 30 jours de prétraitements avec de l'extraits en présence du NaCl à différentes concentrations. Les échantillons sont pesés à l'état frais puis séchés à l'étuve 50 °C pendant 24h .

C. Teneur en chlorophylle

Le Chlorophyll Meter SPAD-502Plus est un instrument qui mesure la teneur en chlorophylle directement sur les feuilles des plantes et indique les valeurs (unités SPAD). Les mesures sont instantanées sur la plante sans avoir à couper des feuilles. Il s'agit d'un appareil portatif peu coûteux basé sur deux diodes électroluminescentes et un récepteur de photodiodes de silicium, qui mesure la transmission des feuilles dans le rouge (650 nm; la longueur d'onde de mesure) et l'infrarouge (940 nm; longueur d'onde de référence utilisée pour ajuster les différences non spécifiques entre les échantillons) régions du spectre électromagnétique. Ces valeurs de transmission sont utilisées par l'appareil pour calculer une valeur relative du compteur (unités SPAD) (généralement entre 0,0 et 50,0) qui est proportionnelle à la quantité de chlorophylle dans l'échantillon (11).

D. Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles sont dosés par la méthode du phénol selon la procédure de (12). Pour l'extraction : 100 mg de matière fraîche, est disposées dans des tubes à essais, en présence de 3 ml d'éthanol à 80 % ; puis laisser à l'obscurité à température ambiante pendant 48 h. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80 °C afin d'évaporer l'alcool. Une fois l'alcool complètement évaporé on rajoute dans chaque tube 20 ml d'eau distillée, c'est la solution à analyser. Dans des tubes à essais propres, on prend 2 ml de la solution à analyser, à laquelle on ajoute rapidement 1 ml de phénol à 5 % et 5 ml d'acide sulfurique concentré à 96 %. On obtient alors, une solution jaune orange à la surface, qu'on passe au vortex pour homogénéiser la couleur. On laisse les tubes reposer pendant 10 minutes à température ambiante et à l'obscurité puis on les places au bain-marie pour 15 minutes à une température de 30 °C. L'absorbance est lue à une longueur d'onde 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

La détermination de la teneur des sucres solubles est réalisée selon la formule suivante :

$$\text{Sucre solubles } (\mu\text{g/g MS}) = \text{DO } 490 \times 1,657.$$

E. Dosage de la proline

Mettre 100 mg de matière végétale fraîche dans un tube à essai. On ajoute 2 ml de méthanol à 40%, le tout est chauffé à 85°C pendant 60 min tout en prenant le soin de recouvrir les tubes avec du papier aluminium. Après refroidissement, on prélève 1 ml d'extraits auquel on ajoute 1 ml d'acide acétique, 25 mg de Ninhydrine et 1ml de mélange (120 ml d'eau distillée + 300 ml d'acide acétique + 80 ml d'acide ortho phosphorique) (0,4 : 1 : 0,26). La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 min au bout desquelles, la couleur vire au rouge. Après refroidissement, on rajoute 5 ml de toluène induisant la séparation en deux phases de la solution : la phase supérieure contient la proline et celle inférieure en est dépourvue. Après avoir récupéré la phase supérieure, on ajoute du Na₂SO₄ à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau qu'elle contient ; enfin, lire la densité optique à 528 nm, (13). La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule :

$$\text{Proline } (\mu\text{g/g MS}) = \text{DO } 528 \times 0,62.$$

Analyses statistiques

L'analyse statistique des résultats obtenus a été réalisée par le logiciel SPSS© version 22.0.0 pour Windows 10. Les expériences ont été répétées 10 fois et les résultats montrent les mêmes tendances

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1.Screening phytochimique des extraits méthanoliques

3.1.1.Analyse quantitative des extraits (teneur en polyphénols et en flavonoïdes)

On observe la présence des polyphénols au niveau extraits. Avec un total de 2,90et mg Eq GA/g d'extrait.

Pour les flavonoïdes leurs concentrations est de 3,56mg QE / g MS. La teneur en Tannins est de 10,54mg QE / g MS

TENEURS POLYPHENOLS.....2,90 mg Eq GA/g MS

TENEURS FLAVONOIDES..... 3,56 mg QE / g MS

Teneurs en Tannins.....10,54mg de CE/g de MS

3.2. Activite antioxydante des extraits

3.1.2.Concentration inhibitrice IC 50 de l' extrait étudié

L'extrait etudie a une IC 50=2,84mg

3.3. Mesure de la conductivité électrique

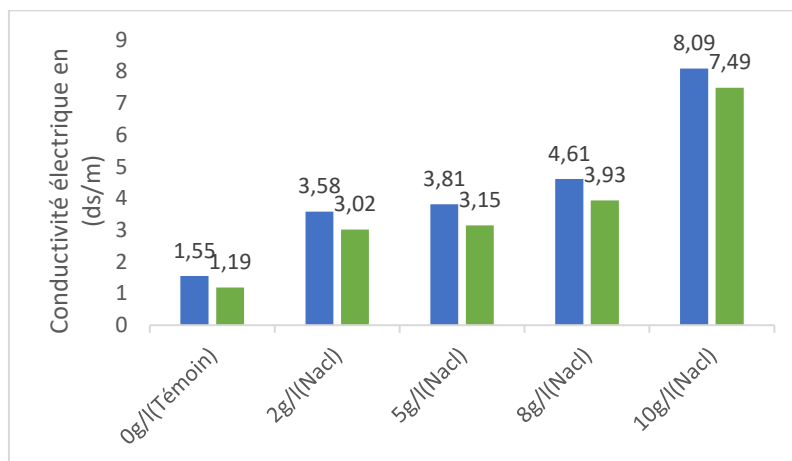


Fig : I: Moyenne des Conductivités électriques du sol traité au NaCl en présence des extraits hydroalcoooliques de Cupressus sempervirens

l'ajout de l'extrait hydroalcooolique de *Cupressus sempervirens* aux traitements NaCl a entrainé, une diminution significative de la conductivité électrique dans tous les traitements, en passant 7,49 (dS/m) chez le traitement T4 à 3,02 (dS/m) pour le traitement T2 et 1,19 (dS/m) pour le témoin (fig. I).

L'analyse de la variance nous permet de voir qu'il y a une différence hautement significative de la conductivité électrique des sols dans les traitements de NaCl ($p = 0,000 < 0,05$) et les traitements de NaCl + Extrait hydroalcoooliques de *Cupressus sempervirens* ($p = 0,000 < 0,05$)).

La présence des extraits permet une diminution significative de la conductivité électrique de notre sol et fournit un environnement favorable à nos plantules d'orge.

Après traitement avec de l'extrait hydroalcooolique des feuilles des *Cupressus sempervirens* ou ce qu'on appelle biostimulants a dose 0,5 mg/ml, on note une diminution significative de la conductivité électrique, à toutes les concentrations et même chez le témoin. Cela indique que le biostimulant du cyprès vert a un effet positif sur la modification, de la salinité du sol et l'atténuation de ses effets nocifs.

3.4. Mesure de l'index chlorophyllien (SPAD)

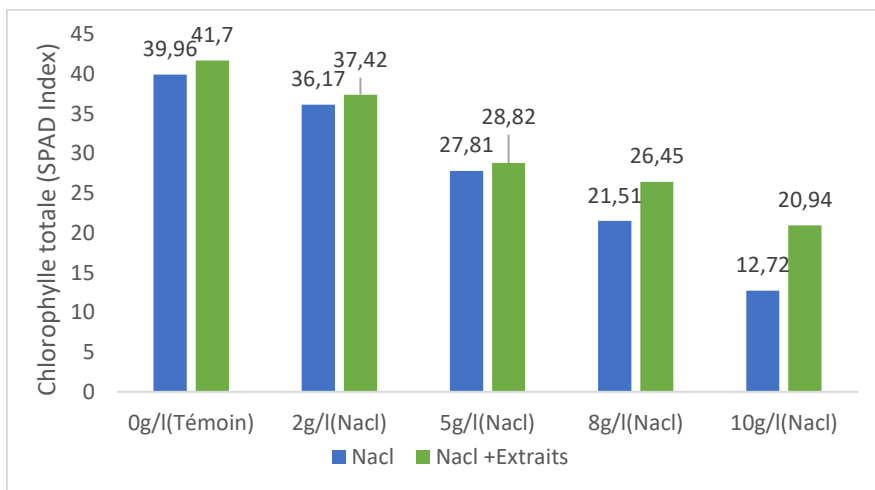


Fig 2: Variation de la teneur en chlorophylle (unité SPAD) au niveau les feuilles dans NaCl et NaCl + Extraits

L'examen de la figure 2 montre que les valeurs de l'index chlorophyllien (SPDA), diminue significativement avec les concentrations croissantes de NaCl). En présence d'extraits hydroalcooliques de *Cupressus sempervirens*, les valeurs de l'index chlorophyllien augmente de façon significative avec les concentrations de NaCl 8g/l et 10g/l . L'analyse de la variance nous permet de voir qu'il y a une différence hautement significative, entre les valeurs d'unité SPAD des plantes traitées par les traitements de NaCl ($p = 0,003 < 0,05$) et les plantules traitées par les traitements de NaCl+ Extrait hydroalcoolique ($p = 0,001 < 0,05$) .

3.5. Mesure de la croissance (Poids sec)

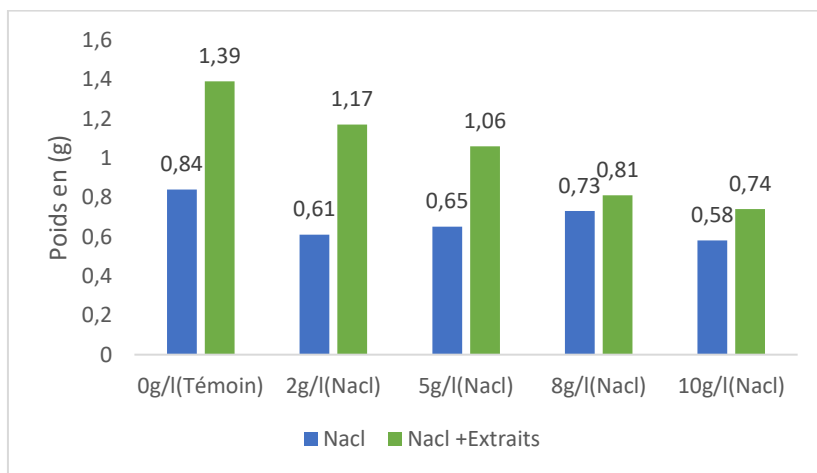


Fig 3: Variation du poids sec des plantules traitées avec solution saline en présence des extraits hydroalcooliques

On note que le poids sec des plantules traitées aux concentrations croissantes de NaCl diminue de façon non significative par rapport au témoin ($p = 0,88 > 0,05$). L'analyse de la variance nous permet de voir qu'il y a aucune différence significative, de poids sec traités par les traitements de NaCl ($p = 0,79 > 0,05$) et il y a aucune

différence significative entre les traitements de NaCl + Extrait hydroalcoolique de *Cupressus sempervirens* ($P=0,06 > 0,05$) Nous pouvons dire que le traitement aux extraits alcooliques stimule de façon significative la croissance des plantules des plantules d'orge traitées aux concentrations. 2g/l, 5g/l et 10g/l. En effet, les PS ont augmenté respectivement de 50%, 40% 27% et 23% avec l'ajout de l'extrait au traitement salins de 5,8,10 g/l NaCl.

3.2. Effets de l'application de l'extrait de cyprès vert sur les paramètres Biochimiques

3.2.1.. Mesure de la teneur en sucres solubles

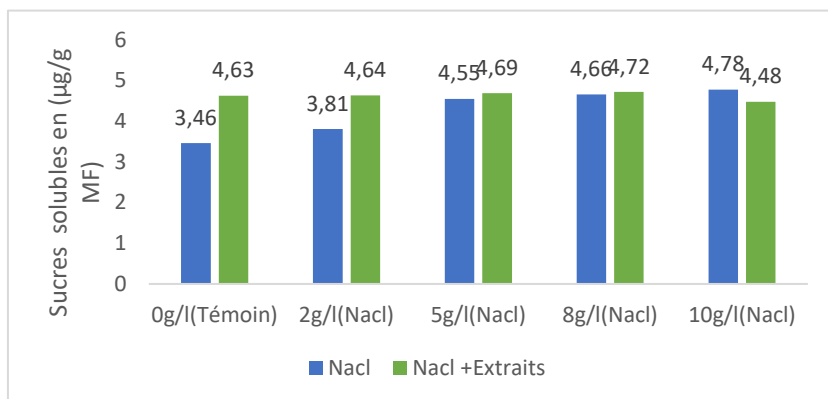


Fig 4 :: Effets de l'application de l'extrait hydroalcoolique sur les teneurs en sucres solubles chez les jeunes plants d'orge cultivés sous contrainte salines

3.2.2.. Mesure de la teneur en Proline

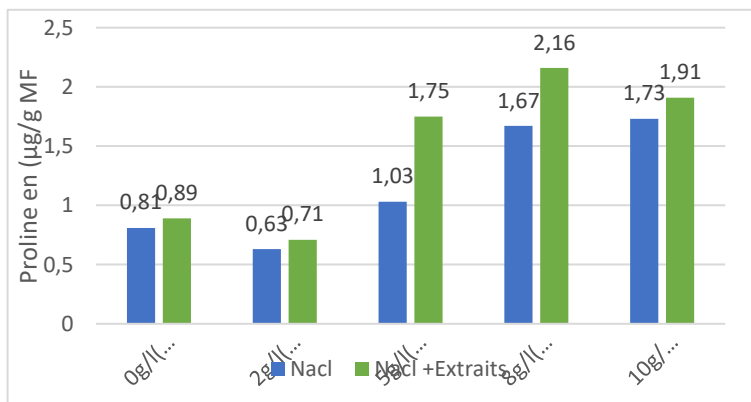


Fig5 :: Effet de diverses concentrations salines (en g/l de NaCl) sur la teneur en proline exprimés en microgrammes par grammes de MF des plantes traitées par les extraits de *Cupressus sempervirens*.

Nous notons l'accumulation croissante de la teneur en proline, chez les plantules d'orge à partir des concentrations de 5,8 et 10g/l NaCl. En effet, ce dernier a causé une augmentation significative de la teneur en proline (1,03 µg /g MF) chez le traitement T2, (1,67 µg/g MF) chez le traitement T3 et (1,73 µg /g MF) chez le traitement T4 soit une augmentation, respective de 27, 80 et 95% par rapport au témoin (fig. 5).

Cependant, la pulvérisation foliaire de l'extrait aux plantes soumises, à une irrigation saline de de (5 et 8g/l NaCl) a amélioré significativement les teneurs en proline en comparaison avec les plantes sans la présence des extraits

foliaires (5 et 8 g/l NaCl). En effet, les teneurs proline ont augmenté respectivement de 70%, 30% et 10% avec l'ajout de l'extrait au traitement salin de 5, 8, 10 g/l NaCl.

Nos résultats montrent l'extrait a un effet positif, sur la synthèse de la proline chez les plants d'orge, ce qui les aide à renforcer la tolérance de l'orge à la salinité.

CONCLUSION

Cette étude a permis de montrer que l'application foliaire d'un extrait hydroalcoolique à une concentration de 0,5mg/ml permet d'améliorer nettement la tolérance à la salinité, de ces jeunes plants. Par conséquent, l'utilisation des extraits peuvent être considérés comme un moyen efficace, en amélioration la tolérance de l'orge l'adaptation de mécanismes physiologiques comme la photosynthèse en agissant sur les pigments chlorophylliens, ainsi que la synthèse d'osmo-protecteurs tels que la proline. L'utilisation de l'extrait hydroalcoolique de *Cupressus sempervirens* L. ou ce qu'on appelle des biostimulants a entraîné une diminution de la conductivité électrique du sol, en présence de différentes concentrations de salinité.

Le traitement à l'extrait hydroalcoolique a révélé un effet significatif sur l'augmentation du poids sec, chez les jeunes plantules d'orge traitées avec des concentrations différentes de NaCl par rapport aux traitements témoins en l'absence de l'extrait.

Dans le cadre de nos résultats, nous voyons que l'extrait hydroalcoolique de *Cupressus sempervirens* a un effet bénéfique, sur les jeunes plantules d'orge en présence de stress salin et agit pour stimuler, l'absorption des nutriments pour une meilleure croissance et augmentation du poids des plantes fourragères, telles que l'orge et améliore la résistance et la protection grâce aux métabolites secondaires présents dans l'extrait qui protègent contre les effets nocifs et négatifs générés par la salinité. Il serait donc intéressant de mener une étude plus approfondie sur les modes d'action de l'extrait de *Cupressus sempervirens* et sur les mécanismes de tolérance aux stress abiotiques des espèces fourragères telles que l'orge. Il serait aussi utile d'expérimenter d'autres espèces de *Cupressus* en testant les différentes concentrations. Par ailleurs, cette étude a montré que les ressources végétales peuvent être aussi exploitées, en agriculture pour produire des extraits et les utiliser en tant que moyens efficaces en amélioration la tolérance et la protection des plantes contre l'effet dépressif du sel chez les graminées fourragères.

Références

- [1] R.. Katoch., Nutritional Quality Management of Forages in the Himalayan Region. (2022) [en ligne]. Disponible sur : « <https://doi.org/10.1007/978-981-16-5437-4> »
- [2] D.B. Lobell Climate change adaptation in crop production: Beware of illusions. *Global Food Security*, vol 3(2), (2014), 72-76.
- [3] F. Bouchetat , Hybridation de l'orge en vue de l'obtention de lignées issues de la variété locale Saïda adaptées à la zone sub-humide centre. Mém. Magister, Amé. Des prod. Végé., Univ. Saad Dahleb Blida. Algérie, (2011)174p.
- [4] A. Djerah., B. Oudjehih., Effet du stress salin sur la germination de seize variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Courrier de Savoir*, vol (20) (2015). 47-56
- [5] C. V Mashamaite, B. L Ngcobo, A Manyevere, Assessing the Usefulness of Moringa oleifera Leaf Extract as a Biostimulant to Supplement Synthetic Fertilizers: A Review. *Plant (Basel)*, vol 11(17) (2022), pp. 2214
- [6] I Tumen., I Sutar., H Keles. E.K Akkol., A Therapeutic Approach for Wound Healing by Using Essential Oils of Cupressus and Juniperus Species Growing in Turkey. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, vol 2012(7), (2012) pp. 72-81
- [7] A.E Al-Snafi., Medical importance of Cupressus sempervirens. *IOSR Journal of Pharmacy*, vol 6(2), (2016) pp. 66-76.
- [8] Si I Romani A., Pinelli P., Cantini C. et Cimato A., Characterization of Violetto di Toscana, a typical Italian variety of artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Food Chemistry*, vol 95(2), (2006) pp. 221-22
- [9] S. Debbaab. Etude in vitro et in vivo des pouvoirs biofongicides des extraits naturels vis-à-vis de l'agent de la fusariose de la tomate : *Fusarium oxysporum* f.s.p radicis lycopersici. Mémoire production des cultures. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem Algérie, 69p. 2017
- [10] M. Hardie. R. Doyle. Measuring soil salinity. *Methods Mol Biol*, vol 913, (2012) pp. 415-425
- [11] Q. Ling, W. Huang P. Jarvis, - Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. *Photosynthesis Research*, vol 107(2), (2011) pp 209-214
- [12] M Dubois., K.A. Gilles J. K., Hamilton P. A. Rebers F., Smith Colemetric Method For Determination Of Sugars And Related Substance. *Analytical Chemistry*, vol 28, (1956) pp. 350-356
- [13] W Troll. J. Lindsley, A photometric method for the determination of proline. *J Biol Chem*, vol 215(2), (1955) pp. 655-660.

La gestion sociale de l'eau, stress hydrique et variabilités climatiques – Cas des Oasis de Zagora (Maroc)

El-Araby Abdelaaziz¹

Maître de Conférence Habilité- Spécialiste en Géographie de l'Aménagement, Géo-Environnement & Développement
Territorial - Ecole Supérieure de l'Éducation et de la Formation - Université Ibn Tofail – Kénitra- Maroc -

Résumé

Les oasis de Zagora (Sud-Est des versants sud de Haut Atlas Marocain), objet de cet article, constituent un exemple vivant de ces régions qui souffrent de la rareté des ressources en eau. Les oueds du Drâa, d'Ait Waaqiz et de Taghebalt sont des principales ressources en eau courantes dans la zone d'étude. En raison de la densité importante de la population dans ces oasis, les ressources en eau souterraine font l'objet d'exploitation intensifiée suite à la demande croissante de l'agriculture, du tourisme et du secteur domestique. En plus, les oasis de Zagora, sont emblématiques en matière de gestion sociale des eaux. Il s'agit des coutumes et traditions qui régissent les circuits de distribution d'eau entre les membres de la tribu et d'un ensemble de méthodes uniques, en leur genre, d'interdépendance et de travail d'équipe et de solidarité (Tevzga). Cependant, il s'avère, au fil du temps, que l'intervention de l'Etat dans ces zones ; conjuguée aux mutations socio-spatiales subies par ces oasis, ont pour résultat la détérioration des structures traditionnelles locales. Par ailleurs, la promulgation de la loi 36.15, qui insiste sur la propriété collective de l'eau, a contrarié le système social hérité dans ces oasis, qui stipule que l'eau est une propriété privée. Dans le même sens, la construction des canaux d'irrigation par l'Etat constitue une raison de plus, qui permet aux gens qui n'accèdent pas à l'eau de contester l'ancien système en matière de sa répartition. De surcroît, les variabilités climatiques qui continuent à se manifester dans ces oasis, provoquent le stress hydrique, la récurrence des années de sécheresse et la répartition irrégulière des précipitations dans l'espace et le temps.

La présente contribution scientifique a pour but de discuter cette problématique liée à la gestion sociale de l'eau, au stress hydrique, aux variabilités climatiques et à l'impact négatif des mutations socio-spatiales sur la rationalisation et la durabilité des ressources en eaux dans ces territoires Oasiens.

Mots clés : la gestion sociale de l'eau - stress hydrique - variabilités climatiques - mutations socio-spatiales
- Oasis – Province de Zagora.

The social management of water, water stress and climate variability – The case of the Zagora Oases (Morocco)

Abstract

The oases of Zagora (southeast of the southern slopes of the High Atlas Mountains of Morocco), the subject of this article, are a prime example of regions suffering from water scarcity. The Draa, Ait Waaqiz, and Taghebalt wadis are the main sources of flowing water in the study area. Due to the high population density in these oases, groundwater resources are subject to intensified exploitation in response to the growing demand from agriculture, tourism, and domestic use. Furthermore, the oases of Zagora are emblematic of the social management of water. This involves the customs and traditions that govern water distribution networks among tribal members, as well as a unique set of methods of interdependence, teamwork, and solidarity (Tevzga).

However, over time, state intervention in these areas, combined with the socio-spatial changes these oases have undergone, has resulted in the deterioration of traditional local structures. Moreover, the enactment of Law 36.15, which emphasizes collective water ownership, has disrupted the inherited social system in these oases, which stipulates that water is private property. Similarly, the construction of irrigation canals by the state provides further grounds for those without access to water to challenge the old system of its distribution. Moreover, the climatic variability that continues to manifest itself in these oases causes water stress, the recurrence of drought years and the irregular distribution of rainfall in space and time. This scientific contribution aims to discuss the issue of social water management, water stress, climate variability, and the negative impact of socio-spatial changes on the rationalization and sustainability of water resources in these oasis territories.

Keywords : social water management - water stress - climate variability - socio-spatial changes - oasis - Zagora Province.

¹ Corresponding author: abdelaaziz.elaraby@uit.ac.ma

INTRODUCTION

Les oasis du Drâa moyen et du Maider, objet de cet article, constituent un exemple vivant de ces régions qui souffrent de la rareté des ressources en eau. Les vallées du Draa, d'Ait Waaziq et de Taghebalt sont des principales ressources en eau courante dans la zone d'étude.

En raison de la densité importante de la population dans ces oasis, les ressources en eau souterraine font l'objet d'exploitation intensifiée suite à la demande croissante de l'agriculture, du tourisme et du secteur domestique. En plus, la zone est touchée par les variabilités climatiques qui se manifestent par l'irrégularité des précipitations dans le temps et par leur intensité violente. En effet, les inondations du mois de novembre 2014, qui ont causé des dégâts humains et matériels dans le sud-est, sont le meilleur exemple de cette variabilité des précipitations dans l'espace et le temps.

Cette période pluvieuse, signalée au-dessus, a tiré la sonnette d'alarme en incitant les acteurs locaux à penser aux alternatives. En fait, le lancement de la construction de certains barrages collinaires et de dérivation est l'aspect principal de la réaction de l'Etat quant à cette situation inquiétante. D'autre part, la société civile désapprouve l'insuffisance de ces efforts et surtout l'absence de la démarche participative dans la conception des stratégies et dans leur mise en place. Par ailleurs, elle regrette son élimination en ce qui concerne le choix des lieux de construction des barrages en question.

Dans cette perspective, cet article portera sur les éléments de réponses aux questions suivantes : En quoi consiste la gestion sociale de l'eau dans la province de Zagora ? Quels sont les impacts de variabilités climatiques et des mutations sociales sur la pénurie d'eau dans la zone ? Quelle évaluation présentent la population et les membres de la société civile à la politique de l'Etat dans le domaine de la gestion de l'eau ? Quelles sont les stratégies possibles d'adaptation quant aux variabilités climatiques et aux mutations socio-spatiales ?

Pour cela, notre contribution s'articule autour de trois axes principaux :

I- Les Oasis de Zagora : aridité du climat, stress hydrique et la gestion sociale de l'eau.

II- Les mutations sociales et variabilités climatiques dans les Oasis de Zagora.

III-Vision stratégique reposant sur la valorisation des traditions et l'utilisation des nouvelles techniques et/ou pratiques économes de l'eau.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I- Les Oasis de Zagora : aridité du climat, stress hydrique et la gestion sociale de l'eau

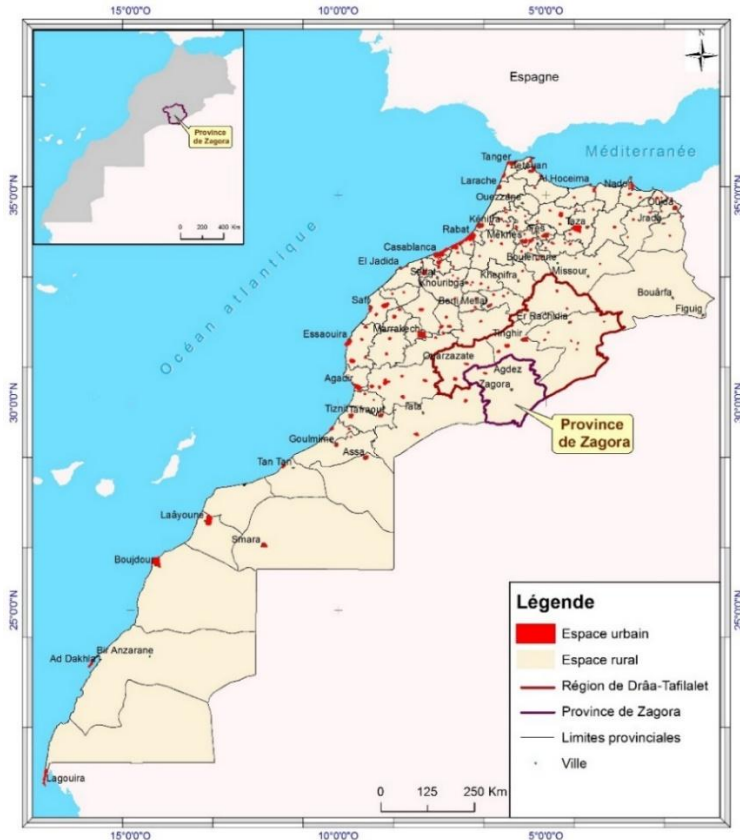
Hydro-graphiquement, la province de Zagora appartient aux bassins du Drâa Moyen et au sous-bassin de Tazarine-Taghbalt, qui fait partie du bassin versant du Maider. Au sein de ce territoire un écosystème favorable à la sédentarisation de la population est développé dans des cuvettes, des oueds, des feijas et des plaines qui le forment.

I-Situation de la zone d'étude et l'aridité du climat :

Le climat de la zone s'inscrit dans l'étage bioclimatique saharien. Il se caractérise par des températures enregistrant des amplitudes importantes tout au long de l'année, par un vent desséchant venant de l'Est (Chergui) qui souffle fréquemment dans la région, par un autre froid relativement humide (Saheli) qui souffle de l'ouest, par une évaporation importante et des précipitations faibles (en moyenne en dessous de 100 mm/an) marquées par des fluctuations dans le temps et l'espace (BAHANI Abdelkadir et al, 2014- p 31).

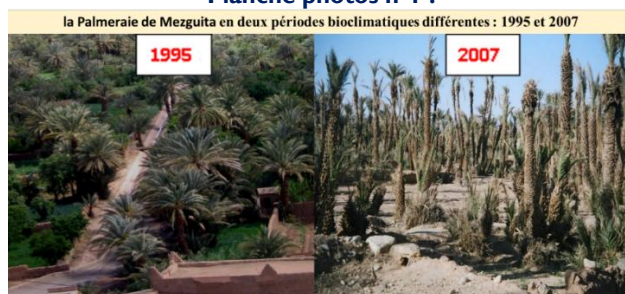
Les deux périodes de 1931-1964 et de 1980-2005 enregistraient des moyennes de précipitations estimées, respectivement, à 69mm/an et 56,71 mm/an, soit un recul de 12,29 mm.

Carte n°1 : Situation des oasis de Zagora dans le territoire national.



Source (avant modifications) : DAT-2015 et HCP-2015-Carte digitalisée par EL-ARABY Abdelaaziz - Septembre 2017.

Planche photos n°1 :



Source : Office Régional de la Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate-Mai 2018.

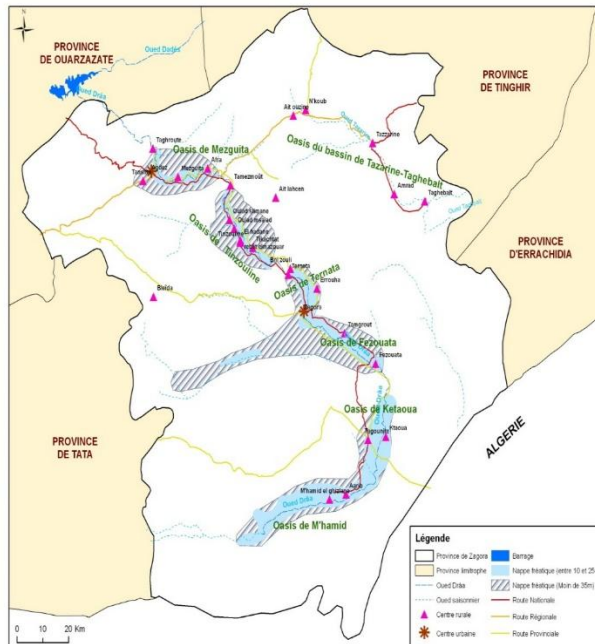
Les apports de l'oued Drâa enregistrent une variation entre les valeurs extrêmes de 90 à 1400Mm3 pendant le 20ème siècle, montrent des périodes marquées par des déficits hydriques très importants. Ainsi, la fréquentation des périodes de grandes sécheresses devient une situation récurrente : 1945-1947, 1955-1957, 1973-1976, 1981-1987, 1993-1995, 2000-2003 (BAHANI Abdelkabar et al, 2014- p 32).

2- La rareté de l'eau comme donnée structurelle

Concernant les origines des ressources hydriques, le bassin du Drâa se base, principalement, sur les apports superficiels de l'oued Drâa, dus à la fonte des neiges des sommets du Haut Atlas Central et des apports des eaux des affluents qui le rejoignent tout au long de son trajet. Alors que le sous-bassin de Tazarine-Taghebalt compte essentiellement sur les eaux souterraines et partiellement sur les eaux superficielles.

Le long de son parcours, qui s'étend sur une longueur de 200 km, l'oued Draa moyen traverse la chaîne de l'Anti-Atlas en creusant des cuvettes où il dépose des sédiments. En effet, six nappes phréatiques sont formées dans ces cuvettes en constituant des « plates-formes » sur lesquelles reposent les six oasis/palmeraies formant la vallée du Drâa moyen (voir carte n°2). Ces nappes se caractérisent par des réserves avec un régime irrégulier et dépendant de celui de l'oued principal source de leur alimentation.

Carte n°2 : Ressources en eau dans les Oasis de Zagora



Source (avant modifications) : Agence du Bassin Hydraulique de Souss Massa Drâa + Enquête de terrain réalisée par EL-ARABY Abdelaaziz -Avril 2016.

Concernant le sous-bassin de Tazarine-Taghebalt, plusieurs assifs (affluents), venant du versant sud-est de jbel et des montagnes de l'Anti-Atlas Oriental forment le réseau hydrographique de cette partie du bassin de Maider. Il s'agit, principalement, des oueds de N'kob, de Tazarine, d'Ait Ouaziz et de Taghebalt. Ces derniers s'enchaînent pour se jeter dans un lac (daya) appelé Maider.

3- De l'importance de la gestion sociale de l'eau dans les oasis de Zagora

Depuis une longue histoire et jusqu'à nos jours, la région est connue par ses règles de gestion de l'eau en fonction des coutumes et des traditions héritées de génération en génération. Du fait que les oasis du Drâa moyen appartiennent au domaine désertique, caractérisé par la rareté et l'irrégularité des précipitations d'une année à l'autre, avec une intensité de l'aridité vers le sud, la population a été obligée de pratiquer au départ une agriculture irriguée basée sur les eaux de l'oued Drâa. Cet usage de l'eau a exigé la construction d'un réseau de séguia. En se référant aux techniques de transfert et de distribution de l'eau pratiquées dans la région, on comprend que les anciennes techniques de l'aménagement hydro-agricole dans les oasis du Drâa se sont adaptées aux conditions locales, du milieu naturel et de la nature des ressources en eau. Ces techniques sont les mêmes dans les régions voisines à savoir : plaine de Sousse et Tafilalet, où la séguia

constitue le pivot des opérations de l'aménagement hydro-agricole dans les oasis, dont une seule personne appelée (Aimal) est chargée de sa gestion. La séguia est ainsi considérée comme une institution sociale à part entière, son entretien est réalisé par plusieurs qsour qui désignent une ou deux personnes pour veiller sur la distribution de l'eau depuis la source jusqu'aux champs irrigables. Le « Aimal » qui se charge de la gestion de la séguia est nommé par les notables de la tribu et il doit remplir plusieurs conditions pour accomplir une telle tâche :

- ✓ Être propriétaire d'une importante part de l'eau afin d'être soucieux quant à l'économie de l'eau
- ✓ Être propriétaire d'une importante superficie agricole.
- ✓ Être une bonne personne, de confiance chez toute la tribu.
- ✓ Avoir de la rigueur contre ceux qui ne respectent pas les coutumes de la gestion de l'eau et aussi avoir la connaissance suffisante des droits de l'eau et des parts des bénéficiaires avec des critères du sérieux et de la disponibilité à cette tâche.

Par ailleurs, la distribution de l'eau dans la région est très compliquée et difficile à comprendre, surtout que les outils de mesure diffèrent d'un Qsar à l'autre. L'enquête de terrain effectuée sur plusieurs séguia a démontré la pluralité des formes de propriété de l'eau, sur la base des données collectées. Ainsi, on a pu déterminer ces différentes formes par l'Inadéquation entre la propriété de l'eau et la terre irrigable.

La situation unique stratégique et la succession des civilisations nombreuses humaines permettent à la Province de Zagora de se distinguer d'un patrimoine immatériel riche et varié qui puisse se manifester sous forme de traditions et d'habitudes des groupes sociaux, de pensées et de sentiments qui se transmettent de génération en génération.

II-Les mutations sociales et variabilités climatiques dans les Oasis de Zagora

La tendance dans ces oasis semble refléter des mutations sociales et économiques, caractérisées par la détérioration de l'économie locale basée sur l'agriculture vivrière qui a longtemps considéré la famille étendue comme un de ses piliers, ce qui, par la suite, conduit à l'apparition de nouvelles formes de logement. Ainsi, on assiste à la production des espaces avec un patrimoine architectural ancestral en détérioration et délaissé par les acteurs ainsi que la population (voir planche photos r¹).

Planche photos n° 2



Clichés : EL-ARABY Abdelaaziz– Juillet 2023.

Planche photos n° 3

Négligence des canaux aménagés par l'Etat



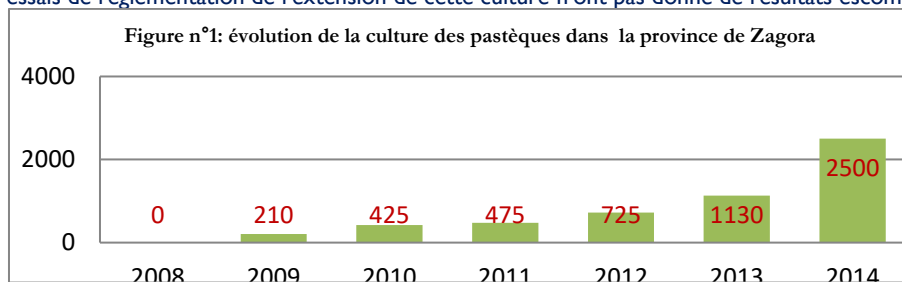
Quelques exemples des aménagements hydrauliques réalisées dans les oasis de Draa Moyen



Source : Office Régional de la Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate-Mai 2018.

L'intégration du réseau d'irrigation traditionnel dans le réseau moderne a engendré des conflits impactant négativement la région et ancrant le caractère traditionnel de son système d'irrigation (voir planche photos n°3).

Il est à signaler que le système de salariat qui se développe dans les oasis de Drâa Moyen et de Maaider prend plusieurs formes. D'une part, il complète l'insuffisance des produits récoltés sur les parcelles, les paysans sont dépendants du marché. Ainsi, le travail salarial leur permet d'acheter des produits qui ne se produisent pas dans leurs parcelles. D'autre part, il y a des gens qui viennent d'autres régions et qui travaillent comme salariés chez des moyens et grands propriétaires. Ce dernier cas de figure est récurrent dans les oasis de Zagora où le développement du travail salarial relève de la dégradation de l'esprit de solidarité qui liait autrefois les paysans. Pour développer l'agriculture en cherchant d'autres ressources productives, les paysans se mettent à évoluer la culture des pastèques pour avoir de nouveaux revenus. C'est dans cette logique de diversification des activités et d'économie de marché que vient la culture des pastèques de Zagora qui a connu une évolution brusque et croissante (voir figure n°1). Cependant, ce type de culture avait des conséquences fâcheuses sur le pompage des eaux souterraines. En effet, les contestations de certains membres de la société civile ainsi que les essais de réglementation de l'extension de cette culture n'ont pas donné de résultats escomptés.



Source : ORMVAO- Mai 2014.

Certes, l'insuffisance des revenus agricoles face aux besoins croissants des familles (effet de ciseaux en économie) incite à une diversification des activités et des revenus au sein des ménages (HADDACHE Mustapha, 2009). Mais ce phénomène s'est développé à cause de plusieurs raisons : d'abord, la pauvreté de la majorité des paysans liée au manque d'accès à la terre causé par la concentration de la propriété. Pour le cas de Drâa Moyen et de Maaider, plus de 73% sont des exploitations de moins de 5 ha. Cette superficie est la même depuis belle lurette. Et si on prend en considération l'augmentation de la population et l'héritage, ces terres ne suffisent pas à la nourriture des populations. Par conséquent, les populations entreprennent d'autres activités. Ensuite, l'émigration interne et externe et l'ouverture de la région sur le monde extérieur ont une grande influence sur les comportements des oasiens. Enfin, les facteurs naturels poussent les gens à diversifier leur terre et le cas échéant à les abandonner. Il en découle que cette pluriactivité forcée, dans la majorité des cas, aurait une influence sur la gestion sociale de l'eau, ce qui va influencer sur le maintien et la durabilité des systèmes hydro-agricoles. Le nombre des khetaras qui continuent de fonctionner en comparaison avec le nombre d'antan est un exemple illustratif.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Vision stratégique reposant sur la valorisation des traditions et l'utilisation des nouvelles techniques et/ou pratiques économes de l'eau

1-Adoption des techniques économes de l'eau

L'introduction des systèmes localisés (goutte à goutte) à l'intérieur des oasis est une innovation en matière de gestion intégrée des ressources hydrauliques dans les zones qui connaissent des pénuries d'eau. Cependant, les systèmes traditionnels résistent à la mise en place des techniques nouvelles d'irrigation. Ainsi, malgré la rareté de l'eau dont souffrent les oasis, les agriculteurs continuent à utiliser les systèmes gravitaires de submersion des parcelles. On assiste à une introduction lente de goutte à goutte (2500 ha dans la plaine de Tafilalet selon les services du Ministère de l'Agriculture). On peut expliquer cette inertie par l'ignorance des agriculteurs, leur non-sensibilisation aux effets néfastes des variabilités climatiques et les différentes mesures à prendre pour s'adapter aux variabilités climatiques globaux. Cette situation qui prévaut dans les oasis

commence à changer par l'adoption à grande échelle de goutte à goutte dans les extensions oasiennes, ce qui permettra, à l'avenir, la préservation et la rationalisation de l'utilisation des ressources hydriques (EL-ARABY Abdelaziz, FALEH Ali & YAHYA OUI Abdelaziz (2017).

2-L'amélioration de l'efficacité et de l'efficacité des ouvrages hydrauliques et la préservation des ressources en eau

Il y a lieu de signaler qu'un important effort a été déployé par l'Etat en termes de mobilisation des ressources en eau, d'aménagements hydro-agricoles et de promulgation des textes juridiques durant les trois dernières décennies dans les bassins oasiens. Mais, cet effort n'a pas été souvent accompagné par une amélioration sensible des rendements et des productions agricoles, et par là-même, des performances technico-économiques du secteur agricole. Le système agricole grand consommateur de la ressource en eau reste marqué par la faiblesse de l'efficacité de l'eau à différents niveaux : Efficacité technique de l'irrigation, efficacité de la distribution et efficacité technico-économique de l'eau.

Les oasis se situent en milieux arides ou semi-arides, et la vie végétale et animale ne peut s'y développer que grâce à l'eau et à l'action de l'homme. La gestion de l'eau y mobilise des savoirs, des techniques et des pratiques qui assurent le fonctionnement du système d'irrigation et constituent un élément majeur du patrimoine culturel oasien. La préservation durable de ce patrimoine ne peut s'envisager que si les organisations sociales sont capables de s'adapter à travers leurs pratiques d'irrigation aux changements environnementaux, conjoncturels ou structurels que connaît l'oasis. Pour une bonne résilience aux variabilités climatiques, on peut limiter les pertes énormes, souvent injustifiées, enregistrées de l'amont à l'aval des systèmes de conduite de l'eau. En dépit de centaines de km de conduites bétonnées entre les barrages de dérivation et les réseaux tertiaires, le ratio du volume d'eau restitué à la parcelle par rapport au volume alloué reste très faible (environ 50%).

On peut aussi améliorer les règles de gestion qui demeurent incapables de surmonter la priorité de l'amont sur l'aval (l'Azerf) ; et atténuer ainsi la dichotomie résultante d'une cohabitation des deux systèmes (moderne et traditionnel) de gestion de l'eau. Ces derniers n'arrivent que partiellement à alléger l'inertie importante des droits ancestraux de propriété et d'usage de l'eau inhérents soit aux séguías (eaux superficielles), soit aux systèmes traditionnels des eaux souterraines (Khattaras)

Pour surmonter les contraintes liées à la fragilité des aménagements hydrauliques (Ougouge) face aux risques de destruction, de gaspillage et de pertes d'eau, tous ces aspects sont autant d'avantages quant à l'économie hydrique. On assiste aussi à la faiblesse de l'efficacité hydraulique des ouvrages traditionnels qui ne mobilisent qu'une partie de la totalité des ressources hydrauliques disponibles. Il y a aussi un fractionnement excessif des réseaux traditionnels qui se traduit par des itinéraires très complexes et par conséquent très longs, occasionnant d'énormes pertes en eau par percolation, par fuites ou par évaporation. A cela s'ajoute une atomisation et émiettement des parts d'eau suite aux partages successoraux et aux diverses transactions rendant de plus en plus difficile la maîtrise du bilan ressources disponibles-besoins en eau et induisent des inefficiences élevées de l'eau : inefficiences techniques traduites par des rapports très faibles entre le volume d'eau initial et le volume à la parcelle, inefficiences économiques traduites par de très faibles rendements des niveaux bas de production et des prix faibles (qualité médiocre des fruits, etc.). Les difficultés de régulation des paramètres hydrauliques surtout en cas de déficits pluviométriques chroniques provoquent des entraves concernant la distribution de l'eau d'irrigation. Concertation entre les multiples acteurs institutionnels et non institutionnels (environ 121) suscite prudence quant à l'orchestration institutionnelle de la gestion de l'eau dans les bassins oasiens du Maroc.

3- Réutilisation des eaux usées et la création d'un microclimat comme forme nouvelle d'adaptation.

Pour faire face à la vulnérabilité extrême des ressources en eau, plusieurs pistes d'adaptation sont explorées dans les oasis notamment la réutilisation des eaux usées pour l'arboriculture. Ces ressources en eaux constituent une opportunité pour les bassins déficitaires en précipitations notamment le Drâa-Tafilalet. Mais, il faut signaler que cette utilisation doit être accompagnée par un suivi rigoureux pour éviter des impacts négatifs sur la santé des citoyens. En même temps, l'Etat marocain, doit poursuivre et accélérer son effort de mobilisation de l'eau conventionnelle par la construction de nouveaux barrages collinaires, et par la lutte contre l'envasement.

De plus, il s'avère nécessaire d'inciter et d'aider les collectivités territoriales à trouver des solutions adéquates à cette problématique des eaux usées. Cela, permettra d'éviter de les jeter dans la nature (à ciel ouvert) et surtout dans des oueds et près des zones d'aquifères, et d'échapper aux éventuelles contaminations de l'eau et par conséquent de la santé de l'homme et de ses bestiaux. Dans ce cadre, et vu le coût très élevé de la construction des stations d'épuration, il s'avère opportun de chercher d'autres alternatives telle que l'utilisation d'un type de plantes qui a une capacité élevée d'absorption des eaux usées. A titre indicatif les Pays Bas ont une expérience exemplaire en matière d'utilisation d'un type de roseaux qui s'appelle en anglais « Weed beds » (voir planche photos n°4 ci-dessous).

Planche Photos n°4: des roseaux utilisés pour le traitement des eaux usées dans les pays bas.



Cela a été expérimenté par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) à Rabat.

CONCLUSION

En guise de conclusion, la province de Zagora souffre beaucoup de la rareté de l'eau; certes, cette situation trouve ses explications dans la rudesse du climat de la zone qui se répercute négativement sur le bilan de l'eau, et donne à la sécheresse une dimension structurelle depuis le début des années soixante-dix. Mais, les variabilités climatiques, en tant que données planétaires, ont un rôle d'accélérateur en termes de récurrence des phénomènes climatiques extrêmes (longues périodes de sécheresse, désertification, inondations ...).

Du surcroît, les oasis de Zagora se caractérisent par le poids et l'originalité de sa dimension historique ancestrale et par une ancienne sédentarisation des populations. La richesse des traditions et coutumes liées à la gestion et à la distribution de l'eau reflète beaucoup cette originalité. Cependant, ce territoire, à l'instar d'autres, a subi des mutations ayant touché au fond l'institution traditionnelle et détériorent les valeurs sociales (travail de groupe, solidarité, partage rationnel et équitable des ressources naturelles...). Par conséquent, la logique de l'individualisme et du capitalisme domine les aptitudes des populations de ces oasis et donnent lieu à des comportements incongrus dans un milieu déjà fragilisé par son cadre physique et bioclimatique.

Certaines stratégies d'adaptation peuvent être proposées :

- Revaloriser les traditions locales et les coutumes liées à la gestion sociale de l'eau afin de les intégrer dans le processus des aménagements hydro-agricoles.
- La sensibilisation et la mobilisation des populations Oasiennes est indispensable depuis la conception des projets.
- Le reboisement de l'amont des oueds des versants de ses affluents.
- Conception et mise en place d'un programme de réhabilitation, de redynamisation et de préservation du système des « Khetaras ».
- Encourager la recherche scientifique dans le domaine agricole afin de trouver des cultures alternantes et convenables au climat et à la fragilité de la région en matière de la pénurie d'eau.
- Faciliter la réalimentation des nappes phréatiques par creusage des puits dans les oueds, et surtout dans les zones caractérisées par une faible perméabilité des roches.

Par ailleurs, l'ensemble des stratégies proposées, sont loin d'être exhaustives, mais, nous nous apercevons qu'elles sont susceptibles d'adresser cette situation à condition que l'Etat veille à ce que l'ensemble des acteurs coordonnent et mettent en convergence leurs actions.

Références

- [1] AIT BRAHIM Yassine (2012), Dénoyages miniers et hydrochimies élémentaire et isotopique des eaux souterraines (bassin du Maider, Anti-Atlas Oriental du Maroc) Mémoire du Master (non publié).
- [2] AÏT HAMZA Mohamed (1999), Mobilité socio-spatiale et développement local au Sud de l'Atlas marocain (Dadès-Toudgha), Thèse de doctorat d'Etat, FLSH. Université Mohammed V – Agdal, Rabat.
- [3] BAHANI Abdelkabar et al, (2014), Migrations internationales et développement- cas de la province de Zagora/Maroc-Kawtar Print-Rabat
- [4] EL-ARABY Abdelaaziz (2018), Les Centres Ruraux Emergents, Aménagements et Enjeux du développement Territorial –Le cas de la province de Zagora- Thèse de Doctorat en géographie d'aménagement et développement- Univ. Sidi Mohamed Ben Abdellah-Fès-Maroc- 300p (non publiée).
- [5] EL-ARABY Abdelaaziz, (2015-2016) Enquête du terrain menée dans le cadre de l'élaboration d'une thèse de doctorat sur le thème : « Centres Ruraux Emergents, Aménagement et enjeux du développement territorial- Le cas de la province de Zagora ».
- [6] EL-ARABY Abdelaaziz, FALEH Ali & YAHYAOUÏ Abdelaziz (2017), Pénurie d'eau en milieu oasien, changements climatiques et stratégies d'adaptation -le cas de la Province de Zagora- in : BAHANI Abdelkabar (Coordination) (2017) sécurité en eau et gestion des ressources hydriques dans les oasis Magrébines- Publication de l'Institut Universitaire de la Recherche Scientifique (IURS)-Rabat-Imprimerie Almaarif Ljadida-Rabat- PP 135-156.
- [7] FALEH Ali et al, (2013) « l'eau dans le pays de ZIZ (Sud-est marocain) Interaction entre Nature et Homme » Programme de Coordination Interuniversitaire et d'Investigation Scientifique, et le Secrétariat d'Etat de Coopération Internationale.
- [8] HADDACHE Mustapha, (2009), Gestion sociale de l'eau et mutations socio-économiques dans l'oasis de Toudgha, Mémoire du Diplôme des Etudes Supérieures Approfondies, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales.
- [9] MAHBOUB Abderrahmane (2014), Contribution à l'étude hydrologique, hydrogéologique et de gestion des ressources en eau des bassins sud-Atlasiques : Cas du bassin du Maider (Sud-est du Maroc), Thèse pour l'obtention de grade docteur en géologie- spécialité ; hydrologie, hydrogéologie-université Moulay Ismail- Faculté des Sciences Meknès.
- [10] Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et les Pêches Maritimes- Office Régional de la Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate- étude du Schéma Directeur des Aménagements de PMH dans les sous bassins du Haut-Souss, province de Taroudant, Bas Draa, province de Zagora – Etude de la situation actuelle et schéma directeur des aménagements de PMH – C-Sous bassin du Maider (2004).
- [11] OUHAJOU Lekbir (1996), Espace hydraulique et société au Maroc : cas des systèmes d'irrigation dans la vallée du Draa, publication de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines – Agadir série thèses et mémoires n°7,
- [12] ZAINABI Ahmed Toufik (2010), Contribution des associations de proximité au développement local de la province de Zagora (Draa Moyen), Thèse de doctorat d'Etat, FLSH. Université Mohammed V – Agdal, Rabat.

Etude des comportements agro-physiologiques du bersim et de ray-grass sous l'effet d'un stress salin dans un contexte de changement climatique

Amor Boughdiri¹, Gouider Tibaoui², Oumayma Hidri³

1,2, 3 Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, Mateur - Tunisie

Résumé

Ce travail a pour objectif d'étudier l'influence d'un stress salin sur deux espèces fourragères : bersim et ray-grass. Sous abri, cinq traitements différents (0 g/l, 2g/l, 4g/l, 6 g/l et 10 g/l) ont été appliqués aux deux espèces pour évaluer leurs comportements agro-physiologiques en conditions de stress salin. Cette approche vise à analyser les réponses des plantes à divers niveaux de salinité envers plusieurs paramètres agro-physiologiques tels que le rendement et teneur en matière sèche, teneur relative en eau, teneur en chlorophylle. Les résultats obtenus montrent que jusqu'à 10 g/l les deux espèces maintiennent respectivement 88 % chez le bersim et 70 % chez le ray-grass stressé par rapport au témoin. Après 65 jours de stress et à 10 g/l, les espèces maintiennent respectivement chez le bersim et le ray-grass 53 % et 80 % de la teneur en chlorophylle, 92 % et 83 % de la teneur relative en eau, 72 % et 54 % de la surface foliaire, 57 % et 42 % de rendement en matière sèche.

Mots clés : stress salin, bersim, ray-grass, tolérance, paramètres agro-physiologiques,

Study of the agro-physiological behaviors of berseem and ryegrass under the effect of salt stress in a context of climate change

Abstract

*The present work aims to study the influence of saline stress on the two forage species, berseem (*Trifolium alexandrinum*) and ryegrass (*Lolium multiflorum*) and evaluate their tolerances. Under cover, five different treatments (0g/l, 2g/l, 4g/l, 6g/l et 10g/l) were applied to the two species to evaluate their agro-physiological behavior under salt stress conditions. This approach aims to analyze plant responses to various salinity levels, taking into account several parameters such as yield and dry matter content, relative water content, chlorophyll content, leaf area, proline content and total sugar content. The results show that up to 10g/l the two species respectively maintain 88% in berseem and 70 % in stressed rye grass in % of controls. Furthermore, the results indicate that even at an extreme dose of 10 g/l, and after 65 days of stress, the species studied maintain respectively in berseem and ryegrass 53% and 80 % of the chlorophyll content, 92% and 83 % of the relative water content, 72% and 54% of the leaf surface, 57% and 42% of dry matter yield.*

Keywords: salt stress, berseem, ryegrass, tolerance, , agro-physiological parameters

¹ Corresponding author: amor.boughdiri@yahoo.fr

INTRODUCTION

Une estimation indique que 7% de la superficie mondiale des terres est affectée par la salinité. L'étendue mondiale des terres touchées par le sel s'élève à environ 1,1 milliard Ha, dont 14 % sont classés comme forêts, zones humides ou zones protégées (inter)nationales et sont considérés comme non disponibles pour la production de biomasse en raison de préoccupations de durabilité (Wicke et al., 2011). Les sols affectés par les sels en Tunisie couvrent environ 1,5 million d'hectares, soit à peu près 10 % de la surface du pays. La salinité du sol et de l'eau constitue le problème majeur dans beaucoup des pays du monde. Elle est considérée comme le principal facteur abiotique qui limite la productivité végétale et le rendement agricole (Rozema & Flower, 2008 ; Abd latef, 2010). Dans les écosystèmes arides et semi arides, la salinité résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol et d'une pluviométrie irrégulière et insuffisante. L'étude menée par Lachhab et al. (2013) révèle que les zones arides et semi-arides couvrent environ un tiers de la surface terrestre. Dans ces régions, la salinité des sols et de l'eau d'irrigation constitue l'un des principaux facteurs limitant la productivité végétale et les rendements agricoles. La salinité est un facteur environnemental crucial qui restreint la croissance et la productivité des cultures (Parida et Das, 2005). Le stress salin entraîne une diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, des tiges et des racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000).

MATERIEL ET METHODES

1. Objectif

Cette étude se concentre sur l'évaluation des réponses agro-physiologiques de deux espèces fourragères tunisiennes, le bersim (*Trifolium alexandrinum*) et le ray-grass (*Lolium multiflorum*), face au stress salin.

2. Matériel végétal

Les deux espèces fourragères étudiées dans ce travail sont le bersim (*Trifolium alexandrinum*) et le ray-grass (*Lolium multiflorum*). Ces deux espèces sont soumises à des essais afin de déterminer leur niveau de tolérance à la salinité.

3. Présentation de la zone d'étude

L'essai a été réalisé sous abri et au laboratoire de l'Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur (ESAM), située au gouvernorat de Bizerte à environ 70 Km au Nord-Ouest de la Tunisie dont les coordonnées GPS est comme suit : L'altitude (20 m), La latitude (37°03'N), La longitude (9°36'E)

4. Dispositif de l'essai

L'essai réalisé a été conduit selon un dispositif en blocs aléatoires complets avec 4 répétitions. Cinq traitements ont été utilisés avec quatre répétitions pour chaque traitement. Les traitements sont données comme suit : T1 : bersim/ ray -grass irriguée à l'eau de robinet, T2 : bersim/ ray -grass irriguée à l'eau dont la salinité de 2g/l, T3 : bersim/ ray -grass irriguée à l'eau dont la salinité est de 4 g/l, T4 : bersim/ ray -grass irriguée à l'eau dont la salinité est de 6 g/l, T5 : bersim/ ray -grass irriguée à l'eau dont la salinité est de 10 g/l

5. Différents paramètres mesurés

Les paramètres mesurés sont la teneur relative en eau, surface foliaire, teneur en chlorophylle, et rendement en matière sèche.

6. Méthodes de mesure

a- Teneur relative en eau TRE (%)

La teneur relative en eau est déterminée par la formule suivante :

$$TRE(\%) = (PF - PS) / (Psat - PS) * 100 \quad (1)$$

PF : Poids frais, PS : Poids sec, Psat : Poids à la saturation

b- Surface foliaire

Le logiciel Mesurim 2 a été utilisé pour déterminer la surface foliaire

c- Teneur en chlorophylle

La teneur en chlorophylle est mesurée par la méthode d'Amon (1949):

d- Rendement en MS (%)

Pour évaluer le rendement en matière sèche, deux plantes par espèce, par traitement et par répétition sont prélevées. Le poids frais est mesuré immédiatement (Pf en grammes). Ensuite, les plantes sont placées dans une étuve à 105°C pendant 24 heures pour le séchage, puis le poids sec est mesuré (Ps en grammes). Le

rendement est exprimé en grammes par plante. Ainsi, la teneur en matière sèche est calculée comme suit :

$$MS (\%) = \text{poids frais (Pf)} / \text{poids sec (Ps)} * 100 \quad (2)$$

$$MS (\text{g MS/ plante}) = \text{poids sec (Ps)} / 2 \quad (3)$$

e- Analyse statistique

Un logiciel statistique (SAS) a été utilisé pour expliquer le degré de signification de chaque facteur étudié pris individuellement et les interactions entre différents facteurs. Les paramètres mesurés ont été testés par une analyse de variances (ANOVA). Les moyennes sont par la suite comparées par le test Yuket $\alpha = 5\%$

RESULTATS ET DISCUSSION

Effet de la salinité sur les paramètres agro-physiologique chez bersim et ray-grass

Transpiration

Chez les deux espèces, la plante continue à transpirer même en conditions de stress salin (figure 1 et 2). Cela signifie que la plante garde ses stomates ouverts, ce qui contredit les résultats obtenus par Wilkinson et Davies, (1997) qui a démontré qu'en conditions de stress salin, la plante réduit la transpiration en diminuant la taille de ses stomates.

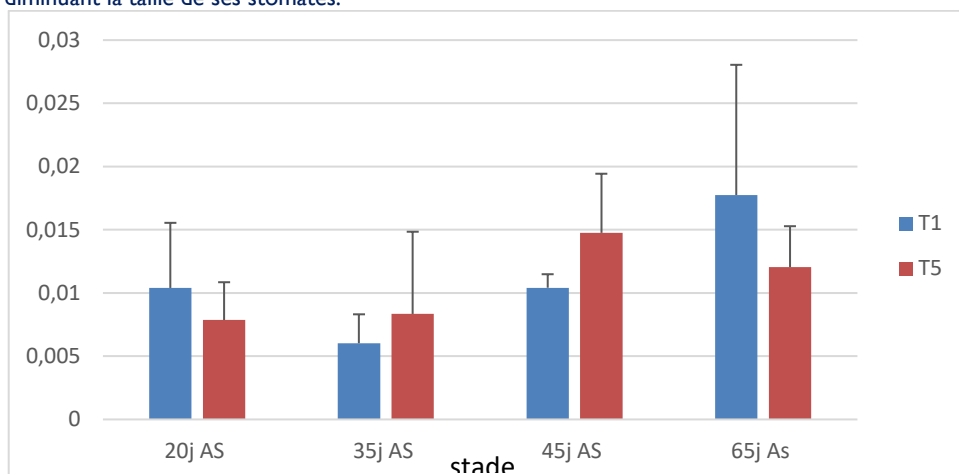


Figure 1 : Variation de la transpiration chez le bersim en fonction de stade végétatifs

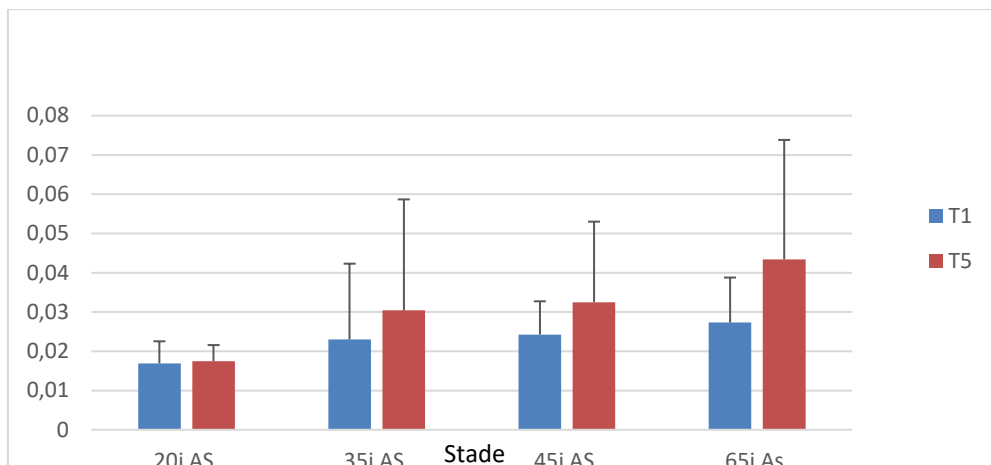


Figure 2 : Variation de la transpiration chez le ray- grass en fonction du stade végétatif

2. Teneur relative en eau

Les plantes perdent leur tissu hydraté à un faible taux dans des conditions de salinité. À différents stades végétatifs et à une concentration de sel de 10 g/l, la teneur relative en eau chez le bersim représente 86,86 %, 69,21 %, 77,75 % et 92,30 % du témoin respectivement à 15 jours après semis (AS), 35 jours AS, 45 jours AS et 65 jours AS (figure 3). Chez le ray-grass, ces valeurs sont de 86,86 %, 81,84 %, 83,52 % et 83,01 % respectivement à 15 jours AS, 35 jours AS, 45 jours AS et 65 jours AS (figure 4). La teneur relative en eau (TRE) diminue en même temps que la transpiration, la plante gardant ses stomates ouverts et continuant à perdre de l'eau même en condition de stress.

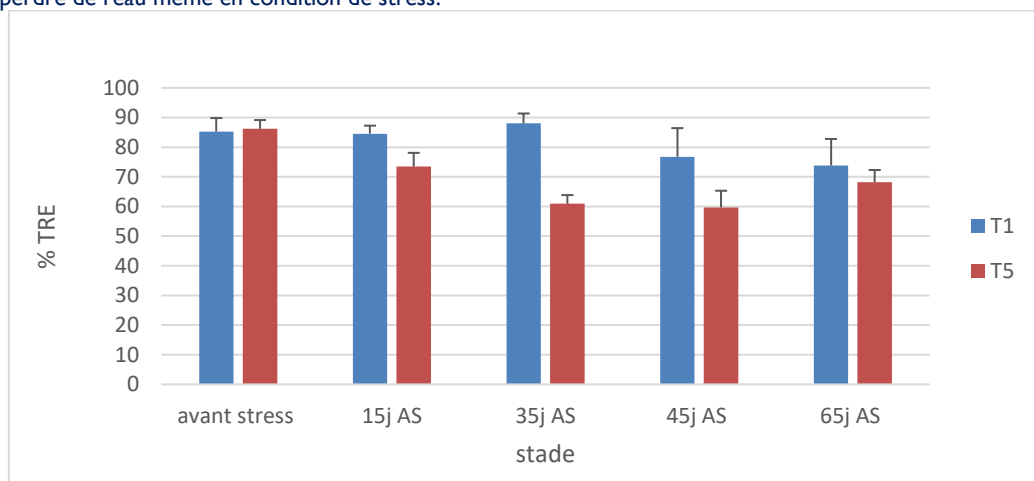


Figure 3 : variation de TRE chez bersim en condition de stress salin aux différents stades végétatifs

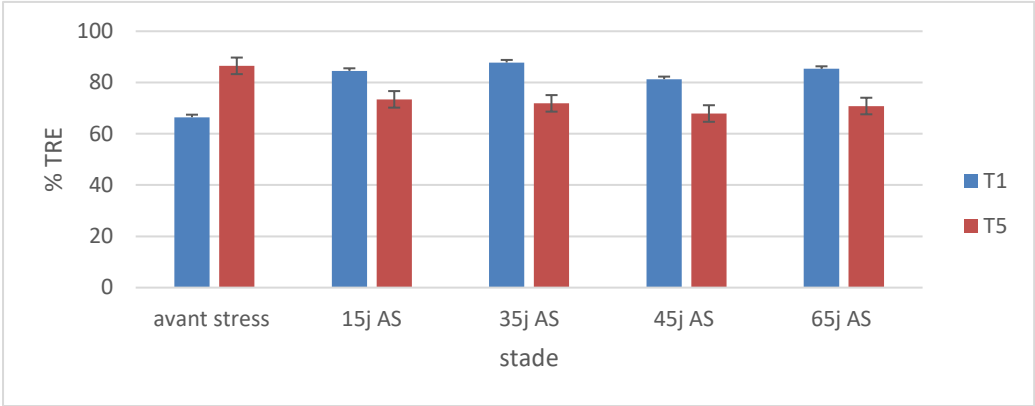


Figure 4 : variation de TRE chez bersim en condition de stress salin aux différents stades végétatifs

3. Surface foliaire

Une augmentation de concentration de sel se traduit par une diminution de la surface foliaire chez les deux espèces ray -grass et bersim au niveau des différents stades végétatifs.

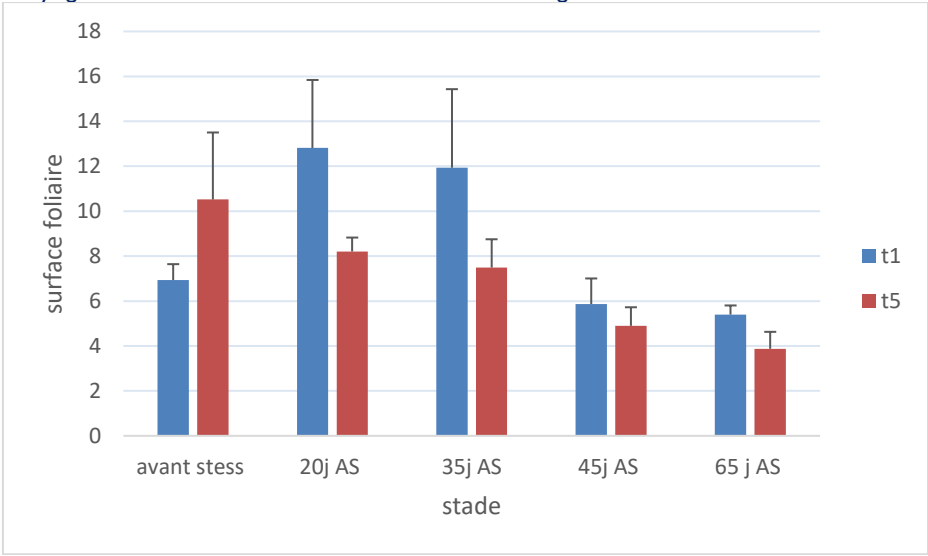


Figure 5 : Variation de la surface foliaire chez le bersim aux différents stades

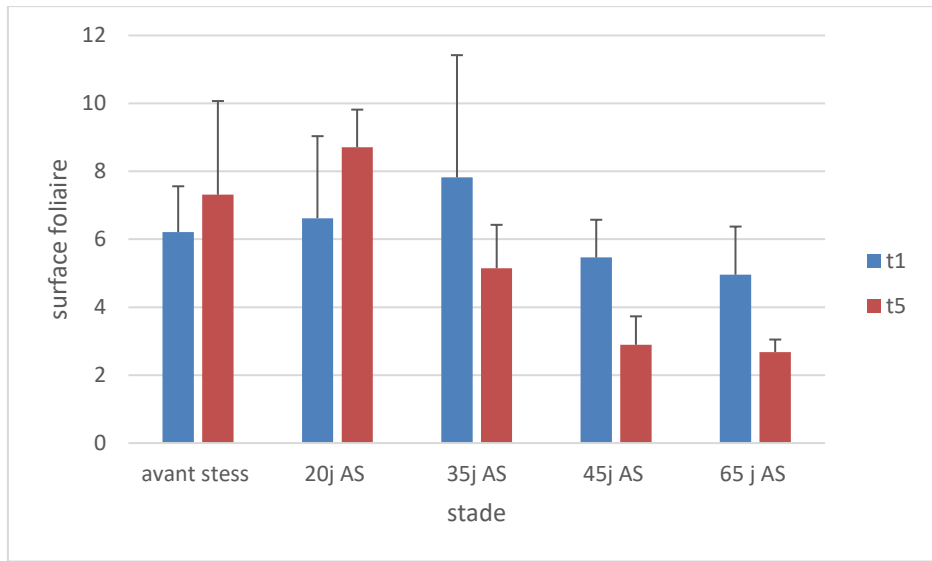


Figure 6I : Variation de la surface foliaire chez le ray -grass aux différents stades végétatifs

3. Teneur en chlorophylle

L’augmentation de la dose de sel provoque une diminution progressive de la teneur en chlorophylle chez les deux espèces.Au niveau de deux stades âgés, chez le bersim, on observe qu’une réduction de la teneur en chlorophylle de 55.28 et 87.97 respectivement au stade 60jrs AS et 70jrs AS (figure 7) et le ray -grass de 26.78 et 20.18 respectivement au stade 60 jrs AS et 70 jrs (figure 8). En effet, l’effet d’une forte concentration de sel sur la teneur en chlorophylle, nos résultats, sont prouvés par Shaheena et al. (2005) ont noté une diminution des concentrations des chlorophylles au niveau des feuilles de moutarde cultivée sous condition de stress salin.

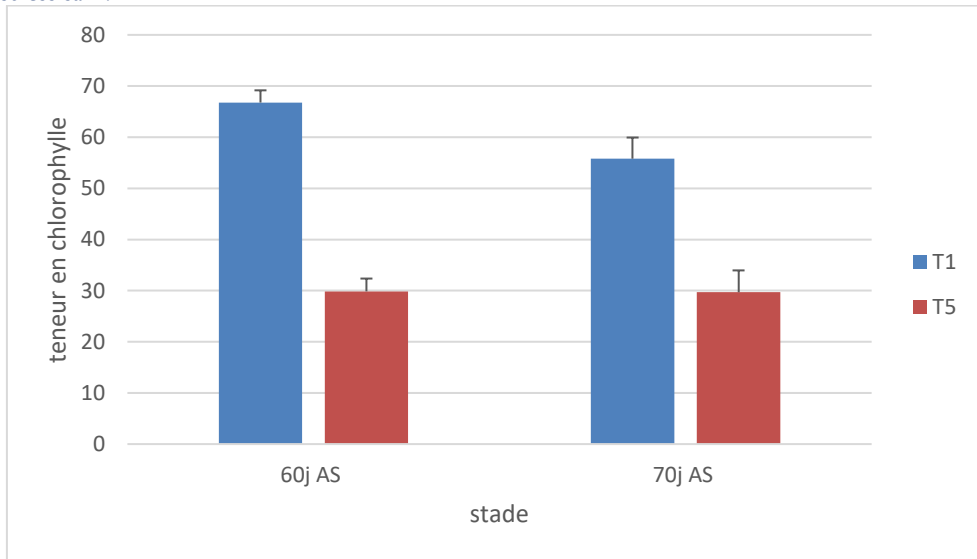


Figure 7: variation de la teneur en chlorophylle chez le bersim

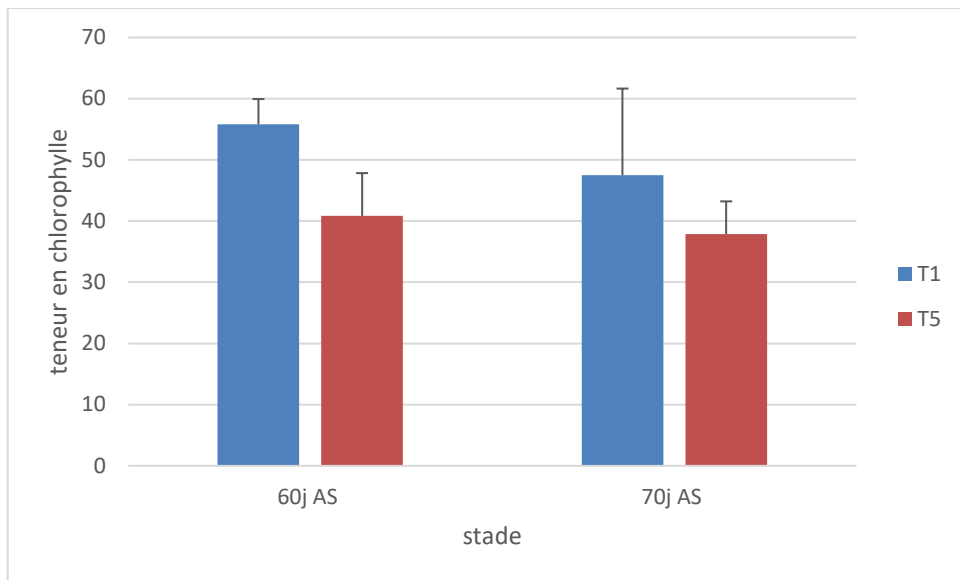


Figure 8: variation de la teneur en chlorophylle chez le ray- grass

4. Matière sèche

Chez les deux espèces, la teneur en matière sèche (MS) augmente progressivement par rapport au témoin. Pour le bersim, les augmentations sont de 108,22 ; 137,78 ; 130,63 ; 134,07 et 127,63 respectivement aux stades avant stress, 15 jours après semis (AS), 35 jours AS, 45 jours AS et 65 jours après stress (AS) (figure 9). Pour le ray-grass, les augmentations sont de 91 ; 162; 140 ; 108et 107aux mêmes stades (figure 10). De plus, on remarque que le taux de MS est plus élevé aux stades avancés qu'aux stades jeunes.

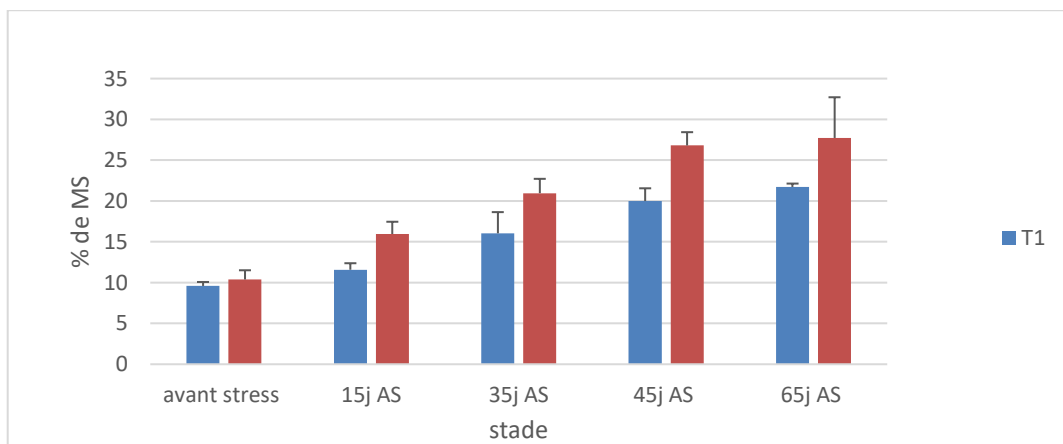


Figure 9 : variation du du rendement en matière sèches en fonction du stade végétatif chez le bersim

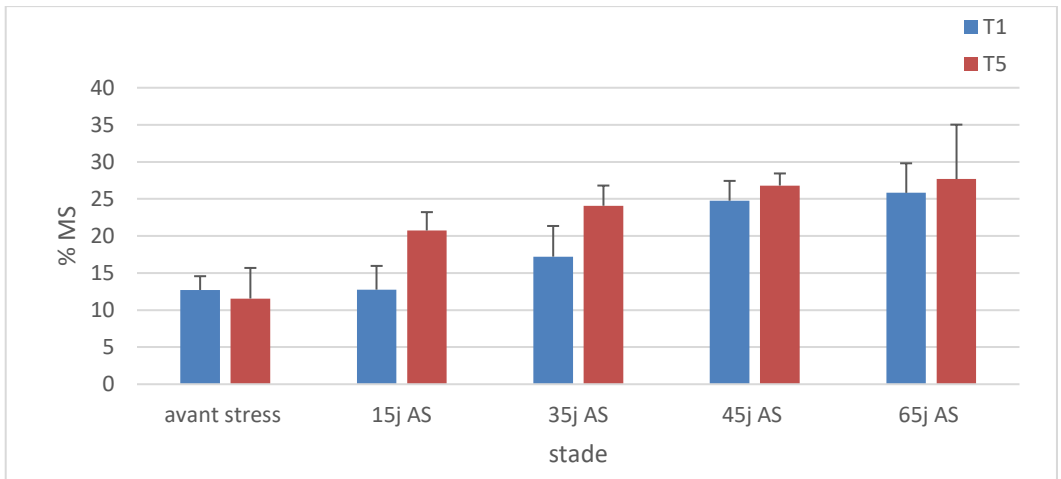


Figure 10: variation du rendement du rendement en matière sèches en fonction du stade végétatif chez le ray- grass

CONCLUSION

Les comportements agronomiques et physiologiques de deux espèces, le bersim et le ray -grass, face au stress salin ont été étudiés sous abris. Les résultats montrent que jusqu'à 10 g/l les deux espèces maintiennent respectivement 88% chez le bersim et 69.89 % chez le ray grass stressé par rapport aux témoins.

De plus, les résultats indiquent que même à une dose extrême de 10 g/l, et après 65jours de stress, les espèces étudiées maintiennent respectivement chez le bersim et le ray grass 53.19% et 79.81 de la teneur en chlorophylle, 92% et 83% de la teneur relative en eau ,71.8% et 54.07% de la surface foliaire, 57.66% et 41.7% de rendement en matière sèche.

Références bibliographiques

- [1] Abd- Latef, A. (2010). Changes of antioxidative enzymes in salinity tolerance among different wheat cultvars.Cereal Res .Comm.38:43-55.
- [2] Chartzoulakis K.,Klapaki G .,2000 . Reponse of two green houssr pepper hybrids to NaCl Salinity during different growth stages .sci . hortici . 86,247-260 .
- [3] Lachab I., Louahlia S., Laamarti M., Hammadi K., 2013. Effet de stress salin sur la germi-nation et l'activité enzymatique chez deux génotypes de Medicago sativa ISSN2028-9324 Vol.3 No.2 June 2013,p.511-516
- [4] Parida A.K., Das A.B., 2005.Salt tolerance and salinity effect on plants :review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol.60, pp. 324-349
- [5] Rozema, J. & Flowers, T. (2008). Crops for a salinized world. Science 322, 1478- 1480.
- [6] Wicke B, Smeets E, Dornburg V, Vashev B, Gaiser T, Turkenburg W, Faaij A.,2011. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. Energy Environ Sci 4:2669–2681.

Analyse de la relation entre la pluviométrie et les apports d'eau vers le barrage en contexte de sécheresse. Cas du barrage Siliana Tunisie

Belaid Hechmi ¹

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

Résumé

Les dernières années à cause des sécheresses répétées le volume d'eau dans les barrages a chuté considérablement, à peine on atteint les 40% de leur capacité totale au mois de mai 2025. Ce taux peut atteindre les 20% en périodes estivale.

En fait 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 de sa quantité ainsi que des conditions antérieures du sol. Le barrage Siliana est l'un des barrages importants dans le Nord Ouest de la Tunisie situé sur le bassin versant du même nom avec une superficie de 1040 km² et ayant comme capacité initiale de 70 Mm³. Au mois de mai 2025 le taux de remplissage n'est que de 37%.

Ce travail s'intéresse à l'étude de la relation entre la pluviométrie à différents échelles de temps et les apports vers le barrage. On a pu développer une équation avec une bonne corrélation statistique entre la lame ruisselée et la pluviométrie à l'échelle mensuelle au 100 mm de pluie.

Mots clés : Bassin versant, Barrage, Pluviométrie, Apport, Siliana.

Analysis of the relation between rainfall and runoff to the dam in a drought context. Case of Siliana dam Tunisia.

Abstract

In last years because of the repeated drought water volume in the dam reservoirs has decreased considerably, barely we reach 40% of the total capacity last mai 2025. This rate may reach 20% in the summer period.

In fact the rainfall on the watershed will be distributed into intercepted water, evaporated, infiltrated and runoff. Water over flow on the surface depends mainly on rainfall intensity and quantity in addition to the antecedent soil conditions.

Siliana dam is one of the important dams in the NW of Tunisia situated at the watershed having the same name with an area of 1040 km² and having a total capacity of 70 Mm³. In last mai month 2025 it has a remplishing rate of only 37%. This work will be concerned with the study of the relation between rainfall at different time scale level and water runoff to the dam.

We could develop an equation with a good statistic correlation between runoff and rainfall at the monthly scale at the level of 100 mm of rainfall.

Keywords: watershed, Dam, rainfall, water, runoff, Siliana

¹ Corresponding author: belaidhfr@yahoo.fr

I. INTRODUCTION

Le bilan hydrique d'une unité hydrologique quelconque sur un pas de temps Δt s'écrit comme suit (Musy, 2005) :

$$\frac{dW}{dt} = P - Q_{\text{surf}} - ET - \text{Perc} - Q_{\text{lat}}$$

Avec (W) le stock d'eau du sol (somme des couches), (P) la précipitation nette (après interception), (Q_{surf}) le ruissellement de surface, (ET) l'évapotranspiration réelle, (Perc) la percolation vers la nappe, et (Q_{lat}) l'écoulement latéral.

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

La sécheresse est en fait 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. Événement 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 (figure 1). 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 abandonnée 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 tendance de la pluviométrie et investiguer la relation entre la pluviométrie à l'échelle mensuelle et la lame d'eau ruisselée vers le barrage de Siliana.

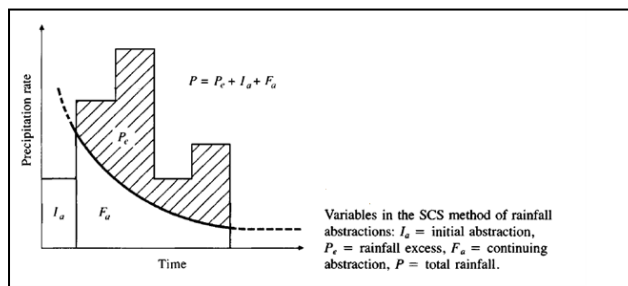


Fig. 1 – Génération du ruissellement (Musy, 2005).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude concerne le barrage Siliana (Figures 2) le bassin versants concerné appartiennent à un bioclimat semi-aride.

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 km². Le barrage Siliana est créé en 1987 le bassin versant du barrage occupe une superficie de 1040 km². L'apport moyen annuel au niveau du barrage est de 36.39 Mm³/an avec une capacité initiale de la retenue de 70 Mm³. La capacité utile actuelle est de 31 Mm³. Le débit d'évacuation est estimé à 3230 m³/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'hiver est entre 9 et 14°C (Chabaane, 2016). Les précipitations sont irrégulières et connaissent aussi des fluctuations mais la moyenne est autour de 450 mm.

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. On utilise aussi l'indice de précipitations standardisé (SPI), ainsi que les corrélations statistiques entre la lame ruisselée et la pluviométrie mensuelle.

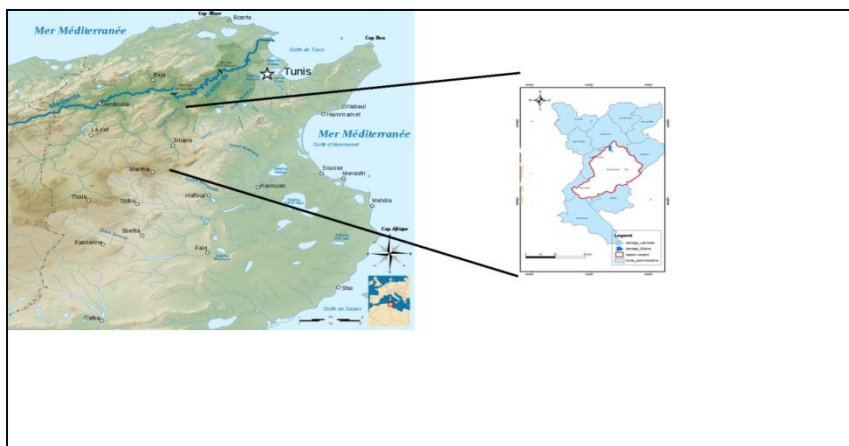


Fig. 2 - Localisation géographique du barrage Siliana.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tendance de la Pluviométrie

L'application de la méthode des fréquences sur la série pluviométrique donne quatre années sèches à très sèches et quatre années normales (figure 3). Toutefois d'après cette série le pourcentage des années inférieures à 400 mm est devenu de l'ordre de 60%, alors que dans des séries antérieures Henia (1980) ce pourcentage n'est que de 45%.

L'application de la méthode de l'indice de précipitations standardisé (SPI) dégage cinq années extrêmement secs à légèrement secs (figure 4). On note les deux années particulièrement sèches de 2022/23 et 2023/24 (figure 5).

Apport d'eau vers le barrage

Les apports d'eau vers le barrage sont relativement faible (figure 6) à l'exception de trois années qui ont enregistrées plus que 30 Mm3. Le total des apports sur toute la période 2012/13 à 2023/24 est de 226 Mm3. La moyenne annuelle des apports est de 18.85 Mm3/an. Dans un travail antérieur (Belaïd, 2024) on a constaté que les écoulements vers le barrage Siliana sont très faibles.

Les mois de septembre et octobre de l'Automne 2023 sont pratiquement sec et par conséquent il n'ya pas d'écoulement vers les barrages. Le mois de novembre quant à lui 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 à causes des sécheresses dans les mois qui précèdent ce qui influe sur l'état des sols qui sont devenus très secs.

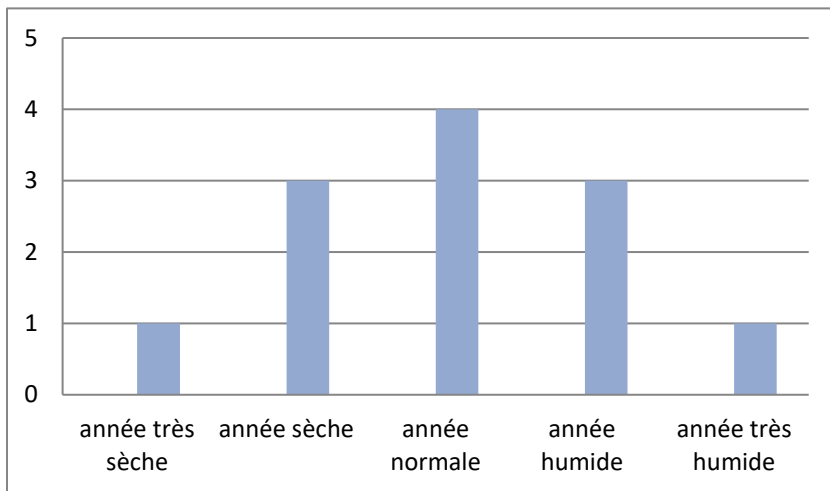


Fig. 3 – Application de la méthode des fréquences sur la pluviométrie au niveau de la station de Siliana.

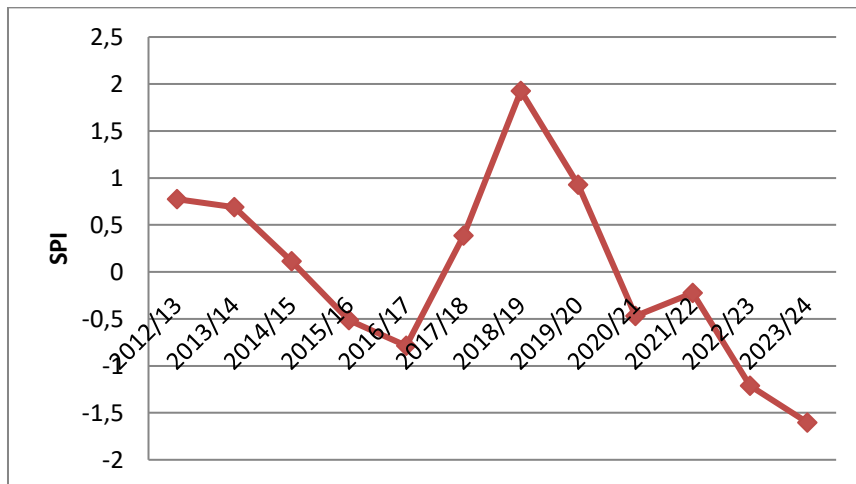


Fig. 4 – Application de la méthode de l'indice des précipitations standardisé (SPI) sur la pluviométrie au niveau de la station de Siliana.

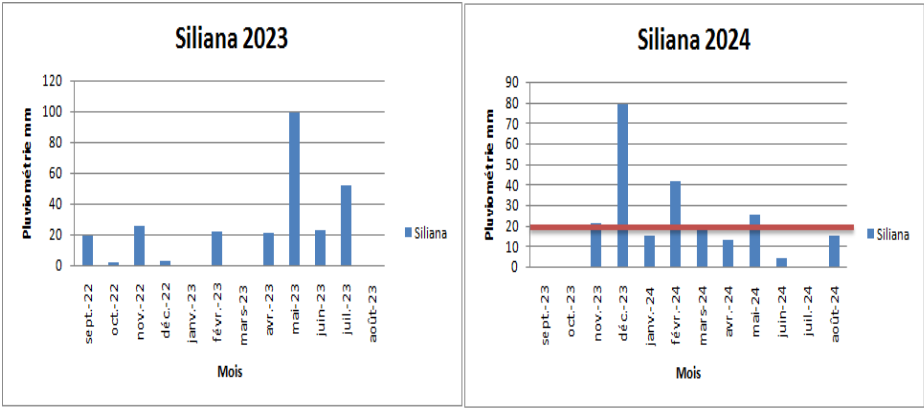


Fig. 5– Les deux années particulièrement sèches de 2022/23 et 2023/24 à Siliana (Belaid, 2024).

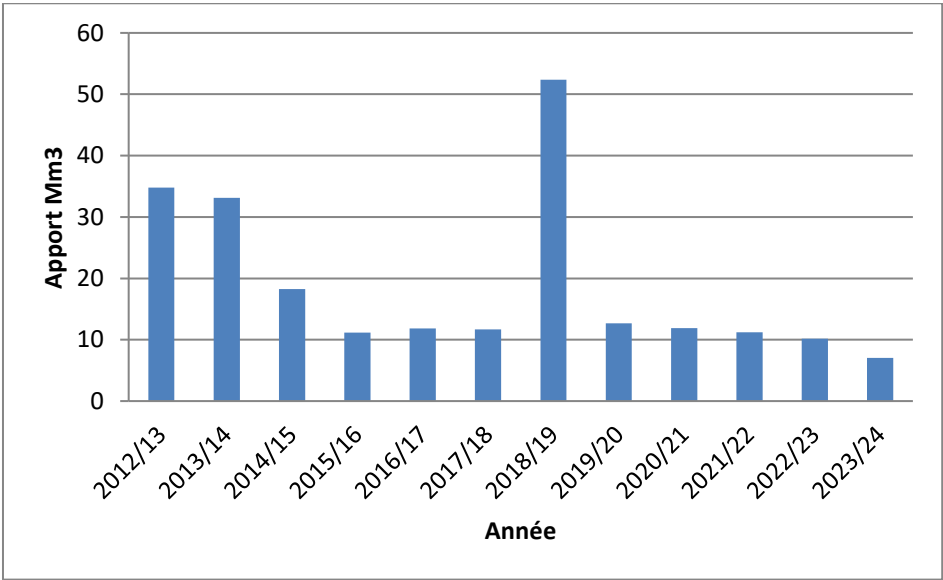


Fig. 6– Variation temporelle des apports annuels vers le barrage Siliana.

Tableau I. Coefficient d'écoulement mensuel du mois de novembre et mai 2023 dans la station Siliana

Mois	Hauteur pluie	ne ruisselée Mm3	cient d'écoulement
Novembre	28.5 mm	0.55 l	1.86%
Mai	114 mm	1.75 l	1.47%

Relation Pluie ruissellement

En étudiant la relation pluie ruissellement à l'échelle mensuelle on constate que la relation pour tous les mois de la série est statistiquement faible avec un coefficient de corrélation multiple R^2 de 0.37 (figure 7). De même pour les seuils pluviométriques respectivement de 20 mm (figure 8) et 50 mm (figure 9).

La meilleure relation et statistiquement forte avec un coefficient de corrélation multiple R^2 de 0.95 et très proche de 1 est pour le seuil 100 mm de la pluviométrie mensuelle. Ce qui nous permet de déduire l'équation suivante :

$$L_r = 0.4P - 38.9 \quad (R^2 = 0.95)$$

Avec

L_r : Lame ruisselée en mm

P : pluviométrie du mois mm avec $P > 100$ mm

Une équation très utile pour les décideurs surtout pour les mois exceptionnels et pour une meilleure gestion de l'excès des eaux du barrage.

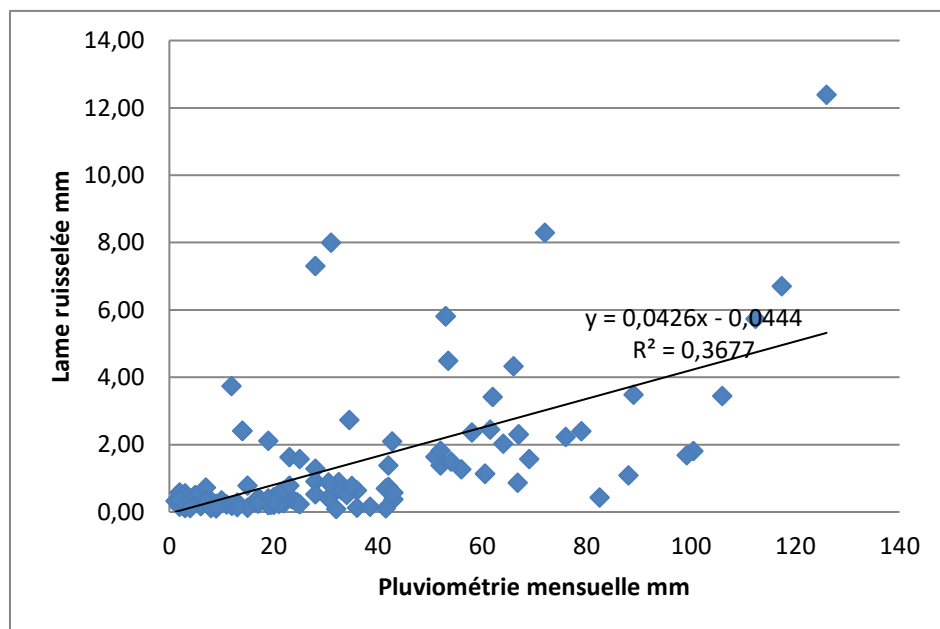


Fig. 7– Relations pluie ruissellement pour tous les mois de la série au niveau du barrage Siliana.

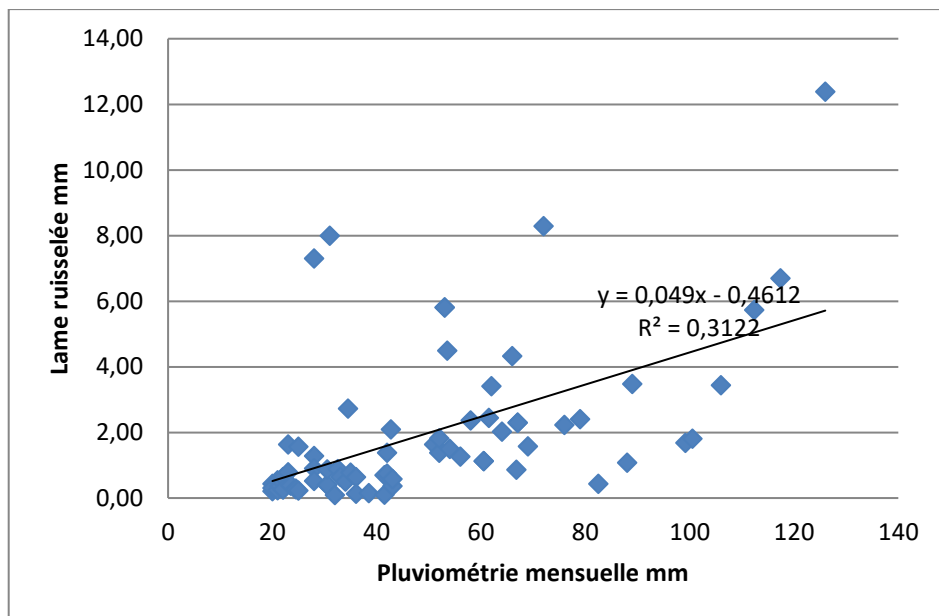


Fig. 8– Relations pluie ruissellement pour les mois supérieurs à 20 mm de la série au niveau du barrage Siliana.

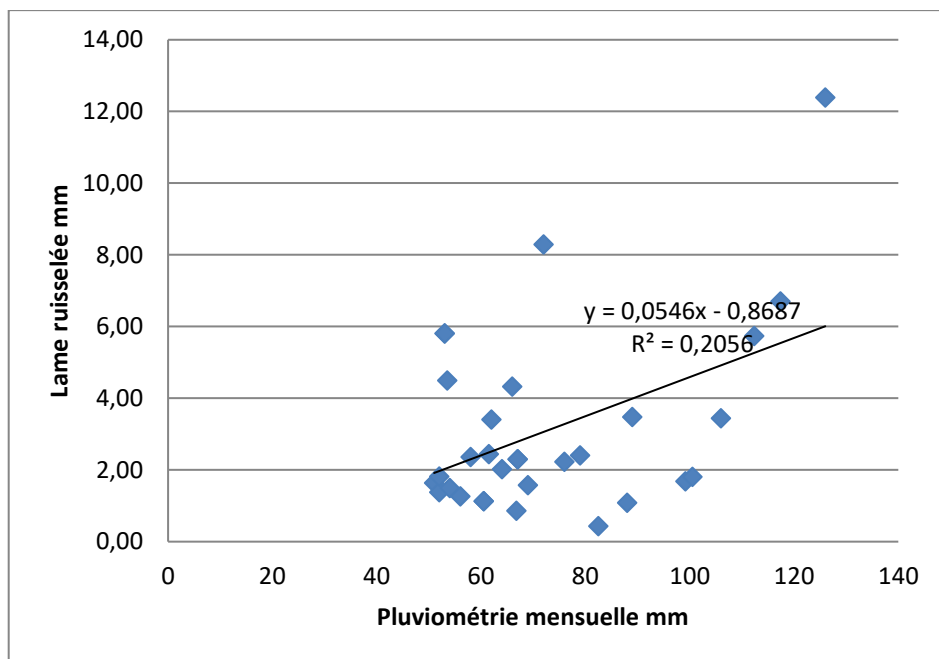


Fig. 9– Relations pluie ruissellement pour les mois supérieurs à 50 mm de la série au niveau du barrage Siliana.

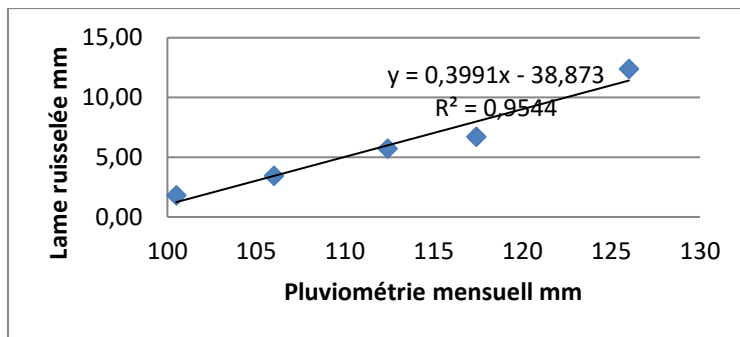


Fig. 10– Relations pluie ruissellement pour les mois supérieurs à 100 mm de la série au niveau du barrage Siliana.

CONCLUSION

Dans la présente étude on s'est intéressé à la relation entre la pluviométrie et la lame ruisselée à l'échelle mensuelle. On a d'abord étudié la tendance de la pluviométrie durant les dernières années. En utilisant que ce soit la méthode des fréquences ou la méthode de l'indice des précipitations standardisé (SPI) on constate que la tendance est vers la sécheresse avec une augmentation considérable des années sèches sur la série étudiée. L'étude de la relation entre la lame ruisselée et la pluviométrie mensuelle a révélé une bonne relation au seuil de 100 mm de pluie avec un fort coefficient de corrélation multiple. Ce qui nous a permis de développer une équation très utile pour les décideurs qui servira à la bonne gestion des eaux du barrage surtout en période d'excès.

Références

- [1] Belaid, H. 2024. Ecoulement exceptionnel de l'automne 2023 au niveau des barrages Siliana, Nebhana et Lebna en Tunisie et situation d'envasement. International Journal water and sciences technologies. Vol IX issue 2 december 2024 pp 6-12. Indexée.
- [2] 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 Tunisien. 7^{ème} séminaire du réseau eau et climat. Comment gérer la ressource en eau dans un contexte de changement climatique global. Université Rouen Normandie France 20 - 21 décembre 2017.
- [3] 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.
- [4] Convention des nations unies pour la lutte contre la désertification CNULCD, 2020. Plan national sécheresse Tunisie. 116p.
- [5] Henia, L. 2014. Les grandes sécheresses en Tunisie au cours de la dernière période séculaire. Eau et Environnement, ENS éditions. p. 25-36.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Musy, A. 2005. Hydrologie générale. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne EPFL, Suisse.
- [9] Organisation Météorologique Mondiale (OMM), 2006. Suivi de la sécheresse et alerte précoce: principes, progrès et enjeux futurs, 26p.

Evaluation of physicochemical properties and potability of natural water sources in souk-ahras region, northeast Algeria

Djouamaa Abdelkader¹, Menaâ Mocen¹, Touarfia Moundji¹, Maazi Mohamed Cherif^{1, 2} and Ayari Adel

¹ Department of Biology, Faculty of Natural Sciences and Life, University Mohamed Cherif Messaadia, Souk-Abras, 41000, Algeria,

² Laboratory of Aquatic and Terrestrial Ecosystems, University Mohamed Cherif Messaadia, Souk-Abras, 41000, Algeria

Abstract

Algeria is one of the largest countries in Africa, is made up of a multitude of reliefs; climate and soil. The availability of water is a major national constraint today. On that point, The impetus for this work which consisted of carrying out a study to the point of view of the physico and chemicals quality of three natural water sources in the region of Souk-Abras (Ben Daoud, Harireche and Beskouï) during the rainy season from [March-May 2021]. The results of the physico-chemical analyzes showed that the parameters sought meet the WHO standards except for a few variables whose averages exceeded the standards such as: nitrite 0.2 mg/l in Ben Daoud, 0.1 mg/l in Harireche and Beskouï. The study of the physicochemical parameters made it possible to reveal values close to each other in natural sources, the latter are considered to be potable in comparison to Algerian standards. The present work makes it possible to classify the depths of the water tables of these sources according to their conductivity; Beskouï with a rises content 1378 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and Harireche 1046 $\mu\text{S}/\text{cm}$, this denotes a strong mineralization of ions such as and Ca^{2+} 200.79 mg/l at Beskouï and Mg^{2+} 58.99 mg/l at Harireche, this makes them classified as slicks deep underground, unlike Ben Daoud which has between shallow water tables from their low conductivity 557 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and their low mineralization Ca^{2+} 175.14 mg/l and Mg^{2+} 30.24 mg/l. The quality assessment ranks the sources from good to bad in the following order: Harireche admires good quality then, Beskouï medium and finally Ben Daoud poor quality.

Key Words : Souk-Ahras / (Ben Daoud, Harireche and Beskouï) / Natural waters/ physico-chemical quality / Algerian standards of drinking waters.

Évaluation des propriétés physico-chimiques et de la potabilité des sources d'eau naturelles dans la région de Souk-Ahras, nord-est de l'Algérie

Résumé

L'Algérie est l'un des plus grands pays d'Afrique, est constitué d'une multitude de reliefs ; climat et sol. La disponibilité de l'eau constitue une contrainte nationale majeure aujourd'hui. A cet effet, le présent travail consiste à effectuer une étude du point de vu de qualité physico-chimique de trois sources naturelles situées dans la région de Souk-Abras (Ben Daoud, Harireche et Beskouï) durant la période pluvieuse [Mars-Mai 2021]. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que les paramètres recherchés répondent aux normes Algériennes sauf quelques variables dont les moyennes ont dépassé les normes tels que : nitrite 0.2 mg/l à Ben Daoud, 0.1 mg/l à Harireche et Beskouï. L'étude des paramètres physico-chimiques a permis de révéler des valeurs proches les unes des autres dans les trois sources naturelles, ces dernières sont considérées comme potable en comparaison aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé. Les résultats obtenus ont permis de prédire la profondeur des nappes souterraines de ces sources en fonction de leur conductivité C'était le plus profond, respectivement; Beskouï d'une teneur élève 1378 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et Harireche 1046 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cela désigner une forte minéralisation des ions tels que et Ca^{2+} 200.79 mg/l à Beskouï et Mg^{2+} 58.99 mg/l à Harireche, contrairement au Ben Daoud qui dispose entre des nappes peu profondes a partir de leur basse conductivité 557 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et leur faible minéralisation Ca^{2+} 175.14 mg/l et Mg^{2+} 30.24 mg/l. L'étude a conclu en évaluant la qualité de ces sources et en les classant de bon à mauvais dans l'ordre suivant : Harireche admire de bon qualité puis, Beskouï à moyenne et enfin Ben Daoud de médiocre qualité.

Keywords: Souk-Ahras /(Ben Daoud, Harireche et Beskouï)/ eaux naturelles/qualité physico- chimique/ normes algériennes de potabilité.

¹ Corresponding author: djouamaa@univ-soukahras.dz

I. INTRODUCTION

Water is a vital resource for life and a cornerstone of sustainable socio-economic development (Belghiti et al., 2013). Despite covering 70% of the Earth's surface, only about 0.3% of the world's water is usable by humans: freshwater and lakes account for 0.009%, inland seas 0.008%, soil moisture 0.005%, the atmosphere 0.001%, rivers 0.0001%, groundwater 0.279%, while the vast majority is in oceans (97.2%) and glaciers and ice caps (2.15%) (Taiwo et al., 2020). Drinking water quality is crucial for predicting and preventing water-related diseases (Gasmi & Refice, 2020). Water is considered potable when it is free from chemical and biological contaminants that could pose short-term or long-term health risks (Lebbihi & Derki, 2018). Assessing surface water quality involves measuring physicochemical parameters and examining the presence or absence of aquatic organisms and microorganisms, which serve as indicators of water quality (Persaud, 2022; Zinsou et al., 2016). The quality of water on a global scale has witnessed a significant decline in recent years, primarily due to unregulated industrial emissions and the widespread application of chemical fertilizers in agriculture. These pollutants trigger chemical alterations in water, making it unsuitable for numerous purposes (Reggam et al., 2015).

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Study area

The Souk Ahras region is located in the extreme north-east of Algeria [36°17'N.; 7°57'E.; altitude 1000 m , close to the Tunisian border, bordered to the North and west by the wilayas of El Tarf and Guelma, to the south-west by the Wilaya of Oum el Bouaghi, to the south-east by the wilaya ofTébessa and the east by Tunisia (Figure 1). Administratively, the Wilaya of Souk Ahras comprises twenty-six communes covering an area of 4,360 km². Its relief is rugged, with an average altitude of 1,000 in the North and 650 m in the south (Tlidjane et al., 2019). It is a mountainous region representing an extension of the Tellian Atlas. It is characterized by a semi-humid climate with hot summers and cold, wet winters, and rainfall averaging 800 mm per year (Hamaidia & Berchi, 2018) Figure 01. The wilaya of Souk-Ahras is characterized by two main features: the mountainous North, part of the Tellian Atlas. The South spart of the high plains (Djouamaa et al., 2022)

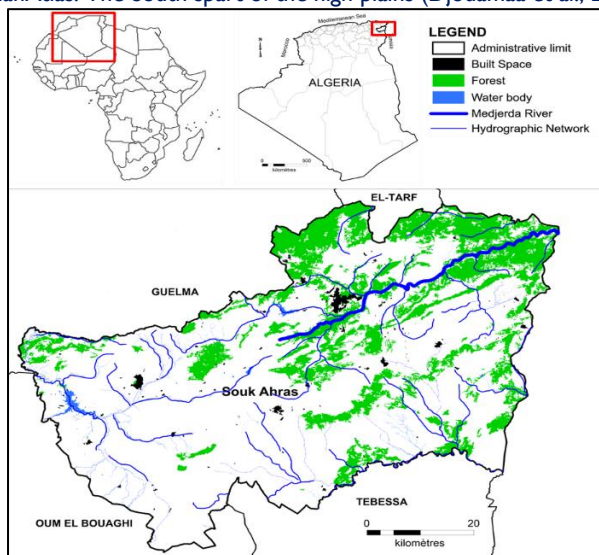


Figure1:The Geographicallocation ofthe SoukAhrasregion

Site selection

The Souk Ahras region is rich in natural water resources spread over a large number of its communes, which made it a challenge for us to choose the sites on which we would conduct our study, as the selection was not random, but rather we researched and discussed with the working group to choose well. In selecting the

study sites represented in the natural water resources, we relied on numerous climatic, geological, and human factors of all kinds and all the activities surrounding the site, whether agricultural or industrial, commercial... etc. Three study sites were approved for sampling in three communes of the Souk Ahras wilaya, as follows:

- Study site 01: Ouled Driss commune (Ben Daoud spring water source);
- Study site 02: Hanancha commune (Harireche spring water source);
- Study site 03: Zarouria commune (Beskouï spring water source).

Sampling and sample preparation

We have followed specific recommendations:

- Field measurements (temperature, pH, electrical conductivity, etc.) should never be taken from a sample that will be sent to the laboratory. These measurements should be taken directly in the watercourse or from a sample that will be discarded once the operation is complete.
- Samples are taken in sterilized 250 ml glass bottles if they are to be analyzed bacteriologically, and well-cleaned 1.5 liter PET (polyethylene) bottles are used for physicochemical analysis.
- The date and time of sampling, water and air temperature, pH, and electrical conductivity are recorded on site.
- The spring flows through a large pipe that fills the flasks and bottles directly.
- The bottles are labeled to indicate the origin of the sample.
- It's of utmost importance to conduct the analysis promptly after sampling. This is why we transport the samples in coolers at a temperature of between 4 and 6°C. Any delay or variation in temperature can potentially alter the composition of the sample (Sari, 2014) (Figure 2).



Figure2: Sampling Method.

The present study was conducted from March 2021 to May 2021, involving regular visits to the study locations to collect samples from the three sites. Physical analyses were performed on-site, and the samples were transported to the laboratory for chemical analyses. This approach allowed us to conduct comprehensive physico-chemical analyses of the water sources, with seven samples collected at each site to measure various parameters.

Samples were taken during both the rainy period (March, April, and May) and the dry period (June and July) of 2021, ensuring a representative assessment of the water quality across different seasons. The results are presented in the form of graphs and tables in this chapter. In situ measurements of organoleptic parameters, electrical conductivity, pH, dissolved oxygen (O₂), and temperature were performed using a multi-parameter device (Consort - c 5010). All other analyses, including nitrate, nitrite, phosphorus, ammoniacal nitrogen, ammonium, calcium, magnesium, turbidity, and total hardness, were conducted in the Algerian Water Distribution Society of Souk Ahras region laboratory.

Data analysis

We used Principal Component Analysis to determine which factors (group of parameters) account for the numerical variation of the clusters (Güller et al., 2002) Also, the definition of PCs helps to extract related variables, giving more information than single parameters and to infer the processes that control spring water quality.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

The results of the physico-chemical parameters obtained are shown in
Table 1:The results of the physico-chemical parameters obtained

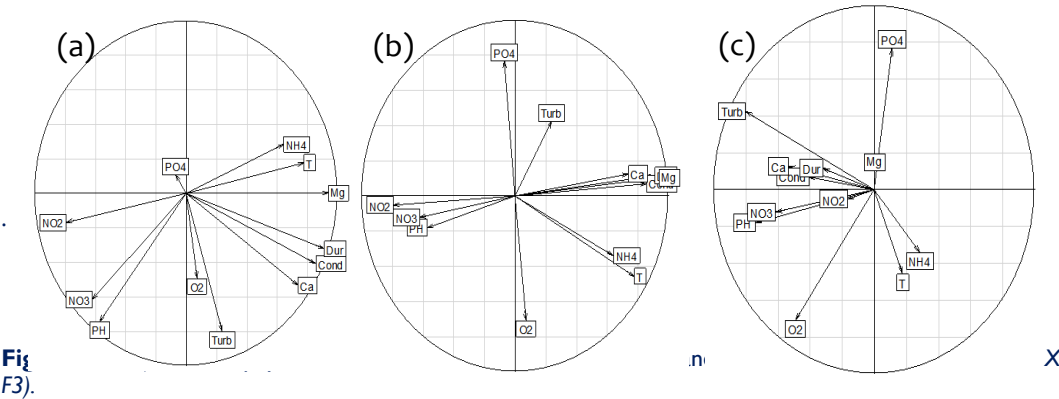
Physico-chemical parameter	The spring water sources			Algerian standards	WHO standards
	Ben Daoud	Harireche	Beskoui		
TC°	13.72	18.64	17.76	25	-
	11.06	16.93	14.66		
	14	16	14.9		
	15	17.76	16		
pH	7.61	7.04	7.49	6.5-9.5	6.5-9
	7.40	6.76	7.21		
	7.31	6.75	7.23		
	6.87	6.76	7.26		
Dissolved oxygen O ₂	12.40	11.33	11.2	>10	5
	5	6.93	7.51		
	7.28	6	7.90		
	8.16	7.63	10.6		
Conductivity CE	448	1002	1223	2800 μS/cm	2500μS/cm
	572	941	1133		
	592	986	1624		
	619	1255	1532		
Turbidity (NTU)	0.45	0.48	0.45	5	5
	0.45	0.29	0.45		
	0.49	0.35	0.90		
	0.42	0.42	0.63		
Hardness	23.5	34.5	35.5	100	100
	25	32.8	35.2		
	29	33.4	40		
	32	33	37		
Nitrates (NO ³)	16	3.06	15.1	50	50-100
	13.8	2.98	13.3		
	11.5	2.53	7.67		
	12.1	1.93	11.3		
Phosphore (PO ₄ ³⁻)	0.06	0.04	0.06	0.50	-
	0.12	0.08	0.05		
	0.41	0.17	0.17		
	0.16	0.18	0.16		
Ammoniacal (NH ⁴⁺)	0.005	0.04	0.04	0.5	0
	0.013	0.06	0.06		
	0.016	0.05	0.001		
	0.011	0.06	0.08		
Nitrites (NO ²⁻)	0.26	0.13	0.16	0.2	-
	0.38	0.15	0.18		
	0.18	0.09	0.13		
	0.02	0.05	0.09		

Calcium (Ca ²⁺)	148.29	180.36	200.4	200	100
	155.04	169.13	193.98		
	168.33	176.35	208.41		
	192.38	174.74	200.4		
Magnésium Mg ²⁺	22.4	53.76	47.04	150	50
	26.88	52.41	49.28		
	35.84	65.16	62.72		
	35.84	64.66	75		
Colour	Transparent	Transparent	Transparent	-	-
	Transparent	Transparent	Transparent		
	Transparent	Transparent	Transparent		
Odour	Odorless	Odorless	Odorless	-	-
	Odorless	Odorless	Odorless		
	Odorless	Odorless	Odorless		
	Odorless	Odorless	Odorless		

Principal Component Analysis (PCA) was performed on a data matrix comprising 12 rows representing the surveyed study sites and 12 columns representing the physico-chemical variables measured or analysed. Projecting the variables onto the factorial planes (F1xF2) (1x3) (2x3) explained 80.14% of the total variance (Figure 4).

Axis I explained 45.02% of the total variance and grouped together temperature, conductivity, hardness, NH4+, Mg2+, and Ca2+ on the positive loading and NO3-and NO2- on the opposing, given the existing correlations between these different elements.

The second axis, with 21% of the variability captured, mainly contrasted pH and turbidity, which contribute negatively to its expression. On the third axis, which accounted for 14.12% of the variability captured, dissolved oxygen (O2) makes a negative contribution. In contrast, PO43—made a solid positive contribution to this axis (Figure 4)



Factorial Analysis of the Projection of Samples

The factorial analysis of the projection of the samples from the three sites onto the F1, F2, and F3 factorial axes reveals a subdivision of the measurement points into five distinct groups (Figure 5):

1. **Group I:** This group includes variables related to temperature, electrical conductivity, hardness, and ammonium (NH4+). These points, characterized by high mineralization, are due to elevated calcium (Ca2+) and magnesium (Mg2+) levels. They are positioned on the positive side of the F1 axis.

2. **Group 2:** This group encompasses variables associated with nitrites (NO₂⁻) and nitrates (NO₃⁻), which exhibit a strong negative correlation on the F1 axis. Groups 1 and 2 account for 45.02% of the total variance.
 3. **Group 3:** This group is linked to the pH variable and turbidity, presenting a negative contribution on the F2 axis and 21% participation in the total variance.
 4. **Group 4:** This group includes the dissolved oxygen variable, which strongly contributes negatively to the F3 axis.
 5. **Group 5:** This group is associated with phosphate (PO₄³⁻), which exhibits a strong positive correlation on the F3 axis. Combined, Groups 4 and 5 represent 14.12% of the total variance.
- These groupings provide a comprehensive understanding of the relationships among the physico-chemical parameters of the water samples (Figure 5).

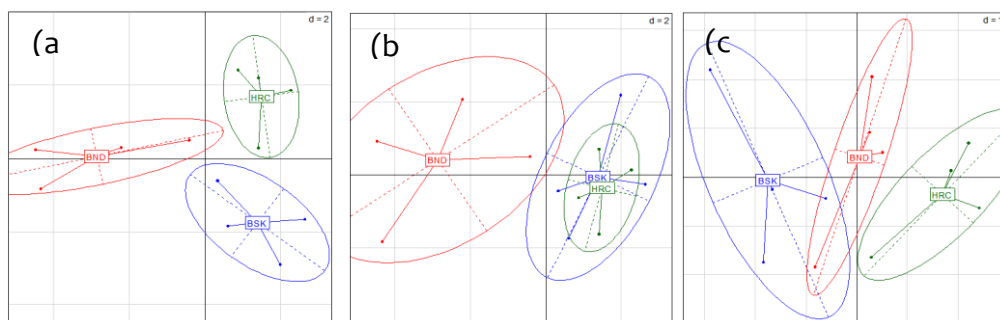


Figure 5: Projection of individuals in the factorial plane (a): (F1 X F2), (b): (F1 X F3), (c): (F2 X F3). of spring water in the Souk Ahras region.

Analysis of Temperature and pH Variations in Groundwater

It is recognized that temperature variations diminish beyond a depth of 3 meters and that the temperature of groundwater remains constant throughout the year (Belhadj & Yahia-Dahmania, 2017). The average natural water temperature in the springs at the three studied sites is 15.54°C, which is moderate compared to national and international standards, which are generally below 25°C (ADE, 2020). During the study period in March and April, we observed temperature variations across the three sites. The highest average temperature was recorded at Harireche at 17.33°C, followed by Beskouï at 15.83°C, and the lowest at Ben Daoud at 13.44°C due to its location in a mountainous area. The average temperature at Ben Daoud is slightly lower than in previous surveys conducted in February, March, and April 2018, which recorded an average of 15.9°C (Kouadria, 2018). At Beskouï, the average temperature is close to the values observed in February, March, and April 2017, estimated at 16.3°C (Hasnaoui & Sid, 2017). The pH of water provides critical information about its acidity and alkalinity (Nouayti et al., 2015). The average pH of groundwater analyzed at the three sites is 7.14, within the WHO recommended range of 6.5 to 9.5 (ADE, 2020). However, the pH values are near the lower limit of this range. The pH levels are slightly basic but tend to become slightly acidic during the rainy season. At Harireche, the slight acidity recorded, with an average pH of 6.82, is attributed to the surrounding forest and dense vegetation, possibly due to biogeochemical or anthropogenic processes. This process is driven by soil CO₂ generated through plant root respiration and the decomposition of organic matter (Kortatsi et al., 2008; Matini et al., 2009; Soro et al., 2019). A low pH may also indicate the presence of contaminants or vigorous mineralizing activity by bacteria near the water table (Matini et al., 2009 in Yaka, 2020). Conversely, the Beskouï and Ain Ben Daoud springs exhibit a pH of 7.29, close to neutrality. The results of the previous study in 2018 for the Ben Daoud site 7.31 are very close to the values of our study

(Kouadria, 2018). The PH of the Beskouï site for the 2017 study was estimated at 7.22 which is also close to our results 7.29 (Hasnaoui and Sid, 2017).

Analysis of Dissolved Oxygen, Electrical Conductivity, Turbidity, and Total Hardness

The average dissolved oxygen levels in the Harireche site were 7.89 mg/L, while at Ben Daoud, they were 8.21 mg/L. This increased dissolved oxygen at Ben Daoud is attributed to its higher elevation, which results in lower temperatures that enhance oxygen dissolution in water. In contrast, Harireche, located in a warmer area, exhibits lower dissolved oxygen levels. Historical data from 2018 also show higher dissolved oxygen levels at Ben Daoud, with an average of 9.6 mg/L (Kouadria, 2018).

The variation in dissolved oxygen is primarily due to temperature differences, as colder water contains more dissolved oxygen than warmer water (Hébert & Légaré, 2000).

Electrical conductivity measurements are valuable for assessing the quantity of dissolved salts in water (Rodier et al. 2014; El-Fadeli, 2015). The average electrical conductivity for the three sites is 995 $\mu\text{S}/\text{cm}$, well within the limits set by the WHO (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and national standards (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (ADE, 2020). The measured values vary among the sites: Beskouï has the highest at 1378 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Harireche at 1046 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and Ben Daoud at 555.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The higher conductivity at Beskouï is due to increased temperatures in the area, which elevate conductivity levels (Nechad, 2014). Previous studies also indicate a noticeable increase in conductivity at Ben Daoud from 899 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in 2018 (Kouadria, 2018) to current levels, possibly due to changes in measurement temperatures.

High water conductivity may result from the geological composition of the aquifer (presence of sandstone and limestone) or exogenous pollution (El Kacemi, 2012). The studied spring waters exhibit mineralization levels ranging from moderate to significant (Rodier et al., 2009).

Turbidity provides visual information about water quality (Perroux & Kartologia, 2006; Mouissi & Alayat, 2016). In our study, Beskouï showed a slight increase in turbidity with an average of 0.60 NTU, Ben Daoud 0.45 NTU, and Harireche 0.38 NTU. Turbidity is influenced by mineral and organic particles suspended in the water, often due to runoff, bank erosion, and effluent discharges (Robert, 2014). The high turbidity at Ben Daoud is caused by waste and pollutants from nearby cattle farms, which seep into the water during rainfall. The 2018 study reported an average turbidity of 3.18 NTU for Ben Daoud (Kouadria, 2018). Beskouï, being in an urban area, also exhibits higher turbidity due to human activity, whereas Harireche, with dense vegetation and minimal human interference, has the lowest turbidity.

The total hardness of the water varies across the sites, with an increase observed during the rainy period. The Harireche site has an average hardness of 33.42 mg/L, Beskouï 36.92 mg/L, and Ain Ben Daoud 27.37 mg/L. This variation is linked to the lithological nature of the aquifer, particularly its magnesium and calcium content (Derwich et al., 2010). Comparing current results with previous studies at Beskouï, there is a slight increase in total hardness from 51 NTU (Hasnaoui & Sid, 2017).

Analysis of Nitrogen Compounds, Phosphates, Calcium, and Magnesium in Groundwater

Nitrates (NO_3^-) and nitrites (NO_2^-) are naturally occurring ions in the environment, resulting from the nitrification of ammonium ions (NH_4^+). Due to their toxicity and potential harm to living organisms, these compounds serve as indicators of water pollution. An increase in nitrogen compounds reflects pollution linked to human activities, particularly those occurring on the surface (Ratel, 2003).

The recorded nitrate, nitrite, and ammonium levels at the three sites show a significant increase at Ben Daoud and Beskouï compared to Harireche. However, they remain within national and international standards. The average nitrate values at Ben Daoud are 15.6 mg/L and at Beskouï 11.84 mg/L, significantly higher than the 2.62 mg/L recorded at Harireche. This disparity is due to human activities, such as livestock contamination near Ben Daoud and a population near Beskouï.

Similarly, the lowest ammonium values were recorded at Harireche, attributed to the absence of human activities that could generate pollutants affecting water quality. However, there was a notable increase in nitrite values, particularly at Ben Daoud (0.2 mg/L) and Beskouï (0.14 mg/L), compared to Harireche (0.1 mg/L). These levels exceed global standards (0 mg/L) for the three sites and Algerian standards (0.2 mg/L) at Ben Daoud. Compared to the study by Kouadria (2018) at Ben Daoud, which recorded an average nitrite value of 0.004 mg/L, the current values show a significant increase.

The presence of agricultural activities near Ben Daoud and Beskouï and the use of chemical fertilizers contribute significantly to the infiltration of these pollutants into the soil, especially during rainfall, thus polluting the groundwater. Waste and pollutants from nearby Ben Daoud further exacerbate groundwater contamination, leading to high values of pollution indicators such as nitrites and nitrates.

Phosphate levels (PO₄³⁻) in the natural waters studied show an increase at the Ben Daoud site (0.18 mg/L) and Beskouï (0.14 mg/L) compared to the Harireche site (0.05 mg/L). This increase is due to agricultural activities and the use of fertilizers, as well as cleaning products like detergents near urban areas such as Beskouï. These phosphate levels are acceptable and comply with national and international standards of 0.50 mg/L (ADE, 2020). The results from Kouadria (2018) at Ben Daoud, which showed an average of 0.14 mg/L, are consistent with our study.

The calcium (Ca²⁺) levels at the three sites show an increase, with the highest values at Beskouï (208.41 mg/L), followed by Ben Daoud (193.98 mg/L) and Harireche (180.36 mg/L). Compared to Hasnaoui and Sid's (2017) results at Beskouï, which showed an average of 159.5 mg/L, our study indicates higher levels, likely due to the infiltration of rainwater through calcium-containing minerals such as plagioclases (Moussa, 2018).

The average magnesium (Mg²⁺) levels indicate an elevation at Harireche (58.99 mg/L) and Beskouï (58.52 mg/L), compared to Ben Daoud (30.24 mg/L). Previous studies by Hasnaoui and Sid (2017) at Beskouï showed a lower rate of 27.07 mg/L. The high magnesium levels may be due to carbonic acid attacking magnesian rocks, bringing magnesium into solution as carbonates and bicarbonates (Nouayti, 2015).

Références

- [1] Algérienne des eaux (ADE). (2020). *Les normes physico-chimiques de la potabilité des eaux naturelles*. Laboratoire d'analyse des eaux de la wilaya de Souk-Ahras, Beskri, 3.
- [2] Belghiti, M. L., Chahlaoui, A., Bengoumi, D., & El Moustaine, R. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (14).
- [3] Derwich, E., Benaabidate, L., Zian, A., Sadki, O., & Belghity, D. (2010). Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (8).
- [4] Djouamaa, A., Boutabia, L., Ayari, A., Menaa, M., Guellati, K., Touarfia, M., & Maazi, M. C. (2022). Ethnobotanical survey of the Apiaceae family species used in the region of Souk-Ahras (northeastern Algeria). *Plant Archives* (09725210), 22(2).
- [5] El-Fadeli, S., Bouhouch, R. R., Benmazhar, H., Barkouch, Y., Zimmermann, M. B., & Sedki, A. (2015). Caractérisation de la qualité physico-chimique et minéralogique de l'eau de consommation de quatre zones de la ville de Marrakech-Maroc (Characterization of physico-chemical and mineralogical. *J. Mater. Environ. Sci*, 6 (9), ISSN : 2028-2508.
- [6] Gasmî, W., Refice, M. (2020). *Caractéristiques physico-chimiques de l'eau potable de la région de M'sila (Dréat, Souamaa, Newara) (Mémoire)*. Université Mohamed Chérif Messadia, Faculté des Sciences, Département des sciences de la nature et de la vie, 60.
- [7] Guller, U., Zajac, P., Schnider, A., Bösch, B., Vorburger, S., Zuber, M., ... & Marti, W. R. (2002). Disseminated single tumor cells as detected by real-time quantitative polymerase chain reaction represent a prognostic factor in patients undergoing surgery for colorectal cancer. *Annals of surgery*, 236(6), 768-776.
- [8] Hamaidia, H., & Berchi, S. (2018). Étude systématique et écologique des Moustiques (Diptera: Culicidae) dans la région de Souk-Ahras (Algérie). *Entomologie faunistique-Faunistic Entomology*, 71.
- [9] Hasnaoui, M., Sid, A. (2017). *Évaluation de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau de sources, Ain Beskouï, région de Zaarouia, Souk-Ahras*. Université Mohamed Chérif Messadia, Faculté des Sciences de la nature et de la vie, Département des Biologie.
- [10] Hébert, S., & Lègaré, S. (2000). Suivi de la qualité de l'eau des rivières et des petits cours d'eau.
- [11] Kortatsi, B. K., Tay, C. K., Anornu, G., Hayford, E., & Dartey, G. A. (2008). Hydrogeochemical evaluation of groundwater in the lower Offin basin, Ghana. *Environmental geology*, 53, 1651-1662.
- [12] Kouadria, S. (2018). *Analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau de source Ben Daoud, région d'Ouled Driss, Souk-Ahras (Mémoire)*. Université Mohamed Chérif Messadia, Faculté des Sciences de la nature et de la vie, Département des Biologie, 59.
- [13] Lebhihi, R., Derki, H. (2018). *Étude de quelques paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux potables dans la région d'El-Oued*. Université Echahid Hama Lakhdar D'el-Oued, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Département de Biologie cellulaire et moléculaire, 55.

- [14] Margulis, V., Shariat, S. F., Matin, S. F., Kamat, A. M., Zigeuner, R., Kikuchi, E., ... & Upper Tract Urothelial Carcinoma Collaboration. (2009). Outcomes of radical nephroureterectomy: a series from the Upper Tract Urothelial Carcinoma Collaboration. *Cancer*, 115(6), 1224-1233.
- [15] Mouissi, S., & Alayat, H. (2016). Utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour la caractérisation physico-chimique des eaux d'un écosystème aquatique: Cas du Lac Oubeira (Extrême NE Algérie)[Use of the principal component analysis (PCA) for physico-chemical characterization of an aquatic ecosystem waters: Case of Oubeira Lake (Extrême Northeastern Algeria)]. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(6), 2214-2220.
- [16] Nechad, I., Fadil, K., & Fadil, F. (2014). Qualité physicochimique des eaux des sources ain regrag et ain Sidi Bouali dans la région de Sefrou (Moyen atlas, Maroc). *Larhyss Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (20).
- [17] Nouayti, N., Khattach, D., & Hilali, M. (2015). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc)[Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco)]. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(4), 1068-1081.
- [18] Perroux, A. S. (2006). Intérêt des sédiments détritiques endokarstiques en tant qu'archive naturelle? Discussion autour des dépôts lacustres souterrains (Grottes de Choranche-Vercors). *Karstologia*, 47(1), 7-20.
- [19] PERSAUD, S. (2022). The Currency of Water in Words: An Analysis of the Conceptual Metaphors of Water (Doctoral dissertation).
- [20] Ratel, M. O., & Debrieu, C. (2003). Élimination des nitrates des eaux potables. Document technique, FNDAE, Hors série N 4. Ministère de l'Agriculture de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales, Direction de l'Espace Rural et de la Forêt.
- [21] Reggam, A., Bouchelaghem, H., & Houhamdi, M. (2015). Physico-chemical quality of the waters of the Oued Seybouse (Northeastern Algeria): Characterization and Principal Component Analysis. *J. Mater. Environ. Sci*, 6(5), 1417-1425
- [22] Rodier J., Legube B., Merlet M., Brunet R. (2009). *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. 8ème Édition : Dunod, Paris. p : 1600.
- [23] Rodier, J., Bazin, C., Broutin, J.P., Chambon, P., Champsaur, H., Rodi, L. (2005). *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau résiduaires, eau de mer, physico-chimie microbiologie, biologie, interprétation des résultats*. 8ème Édition : Dunod. p : 1384.
- [24] Sadat, A. W., N'goran, E. B. Z., Siaka, S., & Parinet, B. (2011). Intérêt de l'analyse multidimensionnelle pour l'évaluation de la qualité physicochimique de l'eau d'un système lacustre tropical: cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 38, 2573-2585.
- [25] Samson-Robert, O., Labrie, G., Chagnon, M., & Fournier, V. (2014). Neonicotinoid-contaminated puddles of water represent a risk of intoxication for honey bees. *PloS one*, 9(12), e108443.
- [26] Soro, G., Soro, T. D., Adjiri, O. A., & Soro, N. (2019). Application des méthodes statistiques multi variées à l'étude hydro chimique des eaux souterraines de la région des lacs (centre de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(3), 1870-1889.
- [27] Taiwo, A. S., Adenike, K., & Aderonke, O. (2020). Efficacy of a natural coagulant protein from *Moringa oleifera* (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria. *Heliyon*, 6(1).
- [28] TLIDJANE, A., MENAA, M., REBBAH, A. C., TELAILIA, S., SEDDIK, S., CHEFROUR, A., & MAAZI, M. C. (2019). La richesse et la distribution des Amphibiens dans la région de Souk Ahras (Nord-Est de l'Algérie). *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 144(4).
- [29] Yaka, D. A. M., Tiemeni, A. A., Zing, B. Z., Nenkam, T. L. L. J., Aboubakar, A., Nzeket, A. B., ... & Mewouo, Y. C. M. (2020). Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines et risques sanitaires dans quelques quartiers de Yaoundé VII, Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(5), 1902-1920.
- [30] Zinsou, H. L., Attingli, A. H., Gnohossou, P., Adandedjan, D., & Laleye, P. (2016). Caractéristiques physico-chimiques et pollution de l'eau du delta de l'Oueme au Benin. *Journal of applied Biosciences*, 97, 9163-9173.

Microplastiques dans les eaux souterraines : zones inexplorées et risques environnementaux et sanitaires

Hiber Hafsa Imene¹; Toumi Houari ², Gaouar lotfi zakaria ³

1. Laboratoire d'Hydrologie Bromatologie, Faculté de Médecine d'Oran - Algérie

2. Laboratoire de Pharmacologie, Faculté de Médecine d'Oran,

3. Laboratoire d'hydrologie Bromatologie, Faculté de Médecine d'Oran,

Résumé

Les microplastiques, ces particules de plastique de moins de 5 mm, constituent un polluant environnemental émergent. Même les eaux souterraines sont aujourd'hui contaminées par ces microplastiques, un problème d'actualité qui mérite toute notre attention.

Afin d'aborder la thématique sous ses différents aspects, une revue de littérature a été menée à partir des bases de données Scopus et PubMed, ainsi que via le moteur de recherche Google Scholar.

Les microplastiques, principalement sous forme de fibres et de fragments, composés majoritairement de PE, PP, PVC et PET, sont présents dans les eaux souterraines à des concentrations variables selon les sources de pollution. Ils proviennent essentiellement de l'infiltration de sols contaminés, de lixiviats de décharges, du ruissellement agricole, des eaux usées et des dépôts atmosphériques. Leur présence est avérée sur tous les continents, bien que les données restent limitées pour l'Afrique et l'Amérique du Sud. Parmi les données disponibles, l'abondance la plus élevée a été mesurée dans la péninsule de Jiaodong, en Chine, avec des concentrations allant de 87 à 6 832 particules/L, et une moyenne de 2 103 particules/L (Mu et al., 2022). Agissant comme vecteurs de métaux lourds et de polluants organiques, leur devenir à long terme dans les aquifères demeure incertain.

L'absence de protocoles standardisés et le manque de données pour de nombreuses zones géographiques entravent la comparaison des études et l'évaluation globale de la contamination, soulignant la nécessité d'investigations complémentaires pour mieux cerner les risques environnementaux et sanitaires.

Mots clés : Eaux souterraines, Pollution environnementale, Métaux lourds, Polluants organiques persistants.

Microplastics in Groundwater: Unexplored Areas and Environmental and Health Risks

Abstract

Microplastics, plastic particles smaller than 5 mm, are an emerging environmental pollutant. Even groundwater is now contaminated with microplastics, an issue of growing concern that warrants urgent attention.

To address this topic from multiple perspectives, a literature review was conducted using the Scopus and PubMed databases, as well as the Google Scholar search engine.

Microplastics, mainly in the form of fibers and fragments and composed predominantly of PE, PP, PVC, and PET, are present in groundwater at concentrations that vary depending on pollution sources. They originate primarily from the infiltration of contaminated soils, landfill leachates, agricultural runoff, wastewater, and atmospheric deposition. Their presence has been confirmed on all continents, although data remain limited for Africa and South America. Among the available data, the highest abundance was recorded in the Jiaodong Peninsula, China, with concentrations ranging from 87 to 6,832 particles/L and an average of 2,103 particles/L (Mu et al., 2022). Acting as vectors for heavy metals and organic pollutants, the long-term fate of microplastics in aquifers remains uncertain.

The absence of standardized protocols and the lack of data for many geographical areas hinder the comparison of studies and the overall assessment of contamination, highlighting the need for further investigations to better understand environmental and human health risks.

Keywords: Groundwater, Environmental Pollution, Metals Heavy, Persistent Organic Pollutants .

¹ Corresponding author: hiberhi7@gmail.com

I. INTRODUCTION

La production mondiale de plastique a connu une grande croissance, passant de 2 millions de tonnes en 1950 à environ 380 millions de tonnes en 2015, avec des projections atteignant plusieurs centaines de millions de tonnes supplémentaires d'ici 2050 [1]. Cette expansion rapide a généré une accumulation massive de déchets plastiques dans l'environnement. Les microplastiques (MPs), définis comme des particules de taille inférieure à 5 mm, résultent de la fragmentation de ces déchets ou proviennent directement de produits manufacturés [1,2]. Ces particules sont désormais détectées dans tous les compartiments environnementaux : océans, rivières, lacs, sols, atmosphère et eaux souterraines [2-5].

Les eaux souterraines constituent un réservoir vital pour l'humanité, représentant environ 99% de l'ensemble des eaux liquides douces de la planète [6]. Elles fournissent actuellement la moitié du volume d'eau destiné à l'usage domestique de la population mondiale et environ 25% de toute l'eau prélevée pour l'irrigation [6]. Malgré leur importance stratégique, ces ressources restent largement sous-étudiées concernant la contamination par les microplastiques [7-9]. De multiples voies de transfert existent : infiltration à travers les sols, ruissellement, lixiviation des décharges et retombées atmosphériques [7-9]. Les microplastiques menacent les écosystèmes aquatiques et agissent comme vecteurs de polluants chimiques [2,4,5]. Leur persistance environnementale pose des défis majeurs pour la protection des ressources en eau [1,10]. L'analyse des microplastiques dans les matrices environnementales complexes se heurte à de nombreux défis méthodologiques, notamment la contamination potentielle en laboratoire, le choix de la taille de filtration et la variabilité des protocoles d'extraction [11,12].

Les recherches consacrées aux microplastiques dans les milieux souterrains restent limitées et dispersées, en particulier dans certaines régions du monde [7-9]. Deux questions critiques se posent : quelles sont les concentrations et les types de polymères présents dans les eaux souterraines à l'échelle mondiale ? Quels sont les risques écotoxicologiques et sanitaires associés ?

Cette revue vise à synthétiser les connaissances actuelles sur la présence, la dynamique et les impacts des microplastiques dans les eaux souterraines — un compartiment encore qualifié de « zone inexplorée » de la pollution plastique. Les objectifs spécifiques sont :

- (i) identifier les principales sources de contamination,
- (ii) analyser les mécanismes d'infiltration vers les aquifères,
- (iii) documenter les niveaux de contamination à l'échelle mondiale,
- (iv) évaluer les risques écologiques et sanitaires émergents.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Une recherche bibliographique systématique a été menée du 1^{er} septembre jusqu'au 28 octobre 2025 sur les bases de données PubMed, Scopus, Web of Science et ScienceDirect. Les mots-clés utilisés étaient : ("microplastics" OR "plastic particles") AND ("groundwater" OR "aquifers") AND ("contamination" OR "pollution") AND ("human health" OR "ecotoxicology"). Cette stratégie de recherche a permis d'identifier les études disponibles et de mettre en évidence les lacunes géographiques dans la littérature scientifique indexée.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Sources et caractérisation des microplastiques

Les microplastiques proviennent de multiples sources et présentent une grande diversité morphologique et chimique.

3.1.1. Principales sources

Les stations d'épuration relâchent fibres et fragments issus de textiles, emballages et cosmétiques, avec les polymères PE, PP, PS et PET comme dominants [13-15]. Les MPs secondaires résultent de la fragmentation de déchets plastiques sous l'effet des UV, de l'abrasion et du vieillissement [16,17]. Les fibres synthétiques

sont déposées par voie atmosphérique [18], tandis que l'épandage de boues d'épuration introduit d'importantes quantités de MPs dans les sols agricoles [15,17].

3.1.2. Caractéristiques physico-chimiques

Le tableau ci-dessous présente les principales propriétés physiques et chimiques des microplastiques.

Tableau 1. Propriétés des microplastiques dans l'environnement

Propriété	Détails	Références
Taille	< 5 mm, souvent < 500 µm	[11,13,14,19]
Forme	Fibres, fragments, films, billes	[13,14,18,19]
Polymères	PE, PP, PS, PET, PVC, nylon	[11,13,14,19]
Couleur	Blanc, transparent, coloré	[16,19]
Vieillessement	Indices de carbonyle et hydroxyle	[12,16]

3.1.3. Méthodes de caractérisation

La spectroscopie FT-IR et Raman identifie la nature chimique des polymères [11,12,14,19]. La microscopie électronique analyse la morphologie et la taille [12,19], tandis que le séquençage ADN étudie les communautés microbiennes associées [19,20].

3.2. Voies d'infiltration vers les eaux souterraines

3.2.1. Principales voies

Le tableau ci-dessous synthétise les principales voies d'infiltration des microplastiques vers les eaux souterraines, ainsi que les facteurs environnementaux qui favorisent leur transfert.

Tableau 2. Voies d'infiltration des microplastiques

Voie	Facteurs favorisants	Références
Infiltration directe	Sols sableux, fissures, fractures	[21,22]
Ruissellement pluvial	Zones de recharge	[21,22]
Irrigation Agricole	Films plastiques	[23]
Rivières	Aquifères alluviaux	[24,25]
Lixiviats	Décharges, eaux usées	[22]

3.2.2. Facteurs influençant la mobilité

Les MPs de petite taille (< 100 µm) migrent plus facilement dans les milieux poreux [25,26]. La distinction est importante : les particules < 5 µm présentent une mobilité particulièrement élevée, comparable aux colloïdes, tandis que les particules plus grandes (100-5 000 µm) sont plus susceptibles d'être retenues par filtration mécanique [25,26]. La perméabilité, la densité de fractures et les matières organiques du sol modifient la mobilité [21,22,26]. Les précipitations et irrigations accélèrent le transfert vertical [22,23], tandis que les activités anthropiques augmentent la charge en MPs [23,24].

3.2.3. Preuves expérimentales

Les MPs peuvent parcourir de longues distances dans les aquifères alluviaux [23,25]. Des modèles prédisent l'accumulation selon la profondeur et les pratiques agricoles [23,27].

3.3. Niveaux de contamination

Le tableau 3 présente les principales études documentant la contamination des eaux souterraines. Les concentrations varient considérablement selon les régions et les méthodes analytiques employées, soulignant l'importance de la standardisation méthodologique [11,12].

Tableau 3. Contamination des eaux souterraines par les microplastiques

Référence	Région	Méthode	Concentration (particules/L)	Polymères dominants
Samandra et al., 2022 [28]	Australie (Victoria, Bacchus Marsh)	LDIR	16–97 (moyenne : 38) ;	PE, PP, PS, PVC
Mu et al., 2022 [29]	Chine (péninsule de Jiaodong)	LDIR	87–6 832 (moyenne : 2 103) ; >90% <100 µm	PET, PU
Selvam et al., 2021 [30]	Inde (zone côtière, Tamil Nadu)	µ-FTIR, AFM	Jusqu'à 19,9 ; taille : 0,12–2,50 mm	PE, PP, polyamide
Panno et al., 2019 [31]	États-Unis (aquifères karstiques, Illinois)	Analyse chimique	Jusqu'à 15,2 (médiane : 6,4) ; toutes fibres	Non spécifié
Wu et al., 2022 [32]	Chine (Tianjin, zone d'eau potable)	µ-FTIR	17–44 ; 73,10% <200 µm	PE, PET, PS
Perraki et al., 2024 [33]	Grèce (sud-est de l'Attique)	µ-Raman	16–513	PE, PP, PET, PS
Wisitthammasri et al., 2024 [34]	Thaïlande (décharge municipale, Rayong)	µ-FTIR	18–94 ; taille : 0,5–1 mm	PE, PP

Abréviations : PE : polyéthylène ; PP : polypropylène ; PS : polystyrène ; PVC : polychlorure de vinyle ; PET : polyéthylène téréphtalate ; PU : polyuréthane ; LDIR : Laser Direct Infrared ; µ-FTIR : micro-spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier ; µ-Raman : micro-spectroscopie Raman ; AFM : microscopie à force atomique.

Note méthodologique : La forte variabilité des concentrations entre études s'explique en partie par les différences méthodologiques. L'imagerie LDIR (Samandra, Mu) permet une détection systématique des

particules < 100 µm, tandis que la spectroscopie µ-FTIR et µ-Raman identifie chimiquement les polymères mais avec des seuils de détection variables. Les méthodes d'extraction, de filtration et de prévention de la contamination diffèrent également entre laboratoires [11,12].

3.3.1. Lacunes géographiques

Le tableau 3 révèle une distribution géographique déséquilibrée : la majorité des études indexées proviennent d'Europe et de Chine. L'Afrique et l'Amérique du Sud demeurent largement sous-représentées dans les bases de données scientifiques internationales malgré des pressions anthropiques significatives [8,9,35-37].

Afrique

La recherche bibliographique systématique (PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect ; période : jusqu'au 28/10/2025) n'a pas identifié étude spécifiquement dédiée aux MPs dans les eaux souterraines africaines. Les travaux disponibles en Algérie, Bénin, Cameroun et Côte d'Ivoire se concentrent sur la pollution chimique et bactérienne sans quantification des MPs [8,9,35-37]. Les méthodes DRASTIC et GOD évaluent la vulnérabilité des aquifères, mais les MPs restent inexplorés [8,9,35]. Cette absence de données indexées ne signifie pas nécessairement l'absence totale de recherches locales, mais souligne un déficit de publication dans les revues internationales à comité de lecture.

Amérique du Sud

Notre recherche documentaire n'a pas recensé de publication indexée traitant spécifiquement des MPs dans les eaux souterraines sud-américaines dans les bases consultées. Cette lacune est préoccupante compte tenu de l'importance des nappes pour l'approvisionnement en eau potable dans cette région.

Tableau 4. Lacunes géographiques dans la littérature scientifique indexée

Région	Publications MPs	Pollution étudiée	Références	Bases consultées
Afrique	Très peu indexées	Chimique, bactérienne	[8,9,35-37]	PubMed, Scopus, WoS, SD
Amérique du Sud	Non identifiées	Eaux de surface	—	PubMed, Scopus, WoS, SD
Asie (hors Chine/Inde)	Limitées	Variable	[34]	PubMed, Scopus, WoS, SD

Note : WoS = Web of Science ; SD = ScienceDirect. Recherche effectuée jusqu'au 28/10/2025.

3.4. Risques environnementaux

L'ingestion de MPs entraîne des dommages cellulaires, un stress oxydatif et une mortalité accrue chez les organismes aquatiques [38,39]. Les MPs agissent comme vecteurs de polluants organiques et métaux lourds, facilitant la bioaccumulation [39]. Ils perturbent les cycles du carbone et des nutriments, compromettant la résilience des écosystèmes [38,39].

3.5. Risques sur la santé humaine

L'exposition aux MPs se fait par ingestion et inhalation via l'eau potable, les aliments et l'air [40,41]. Ils s'accumulent dans le sang, les poumons, le placenta et l'intestin [40,42].

Les effets multi-organes incluent : altération de la barrière intestinale et perturbation du microbiote [40,43] ; stress oxydatif et inflammation respiratoire [44] ; dommages hématopoïétiques [45] ; toxicité hépatique et rénale [40,46]. Les effets reproductifs comprennent baisse de fertilité, altérations de la gamétogenèse, perturbations hormonales et effets transgénérationnels [42,47-49].

Les mécanismes impliquent stress oxydatif, inflammation, apoptose et perturbation endocrinienne [40-46,48,49]. Ces résultats proviennent d'études animales avec des doses parfois supérieures à l'exposition

humaine. Des études épidémiologiques sont nécessaires pour confirmer les effets et établir des seuils sécuritaires.

4. CONCLUSION

Cette revue révèle une contamination généralisée des eaux souterraines par les microplastiques, avec des concentrations variant de quelques à plusieurs milliers de particules par litre. Les polymères PE, PP, PS et PET dominant, principalement sous forme de fibres et fragments (< 500 µm).

Les voies d'infiltration identifiées incluent l'infiltration directe, le ruissellement, l'irrigation agricole, le transfert fluvial et la lixiviation. La mobilité dépend de la taille des MPs, des propriétés du sol, des conditions hydriques et des activités anthropiques. Les risques environnementaux comprennent la toxicité pour les organismes aquatiques, la bioaccumulation et la perturbation des cycles biogéochimiques. Les risques sanitaires, documentés sur modèles animaux, incluent des effets digestifs, respiratoires, hématopoïétiques, hépatiques, rénaux et reproductifs.

Toutefois, des lacunes majeures persistent. La distribution géographique des recherches est déséquilibrée, avec une quasi-absence de données pour l'Afrique et l'Amérique du Sud. Certains types d'aquifères (profonds, multicouches, volcaniques) restent sous-étudiés. Les défis méthodologiques persistent concernant la standardisation des protocoles et la prévention de la contamination en laboratoire.

Les axes prioritaires incluent :

- (i) développer des programmes d'échantillonnage dans les régions sous-étudiées ;
- (ii) standardiser les méthodologies analytiques ;
- (iii) étudier les mécanismes de transport dans différents aquifères ;
- (iv) conduire des études épidémiologiques à long terme ;
- (v) investiguer les effets combinés des MPs avec d'autres polluants ;
- (vi) développer des technologies de traitement efficaces.

La protection des eaux souterraines nécessite une approche intégrée : réduction à la source, amélioration du traitement des eaux usées et lixiviats, gestion durable des pratiques agricoles, et renforcement des cadres réglementaires. L'établissement de normes de qualité pour les MPs dans l'eau potable apparaît désormais nécessaire pour la protection de la santé publique et la préservation de cette ressource vitale.

RÉFÉRENCES

- [1] Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv*. 2017;3(7):e1700782.
- [2] Hu K, Yang Y, Zuo J, Tian W, Wang Y, Duan X, et al. Emerging microplastics in the environment: Properties, distributions, and impacts. *Chemosphere*. 2022;297:134118.
- [3] Auta HS, Emenike CU, Fauziah SH. Distribution and importance of microplastics in the marine environment. *Environ Int*. 2017;102:165-176.
- [4] Koutnik VS, Leonard J, Alkidim S, DePrima FJ, Ravi S, Hoek EMV, et al. Distribution of microplastics in soil and freshwater environments. *Environ Pollut*. 2021;274:116552.
- [5] Kye H, Kim J, Ju S, Lee J, Lim C, Yoon Y. Microplastics in water systems: A review. *Heliyon*. 2023;9(3):e14359.
- [6] UNESCO. Groundwater: Making the invisible visible. World Water Development Report 2022. Paris: UNESCO; 2022.
- [7] Josse RG, Toklo RM, Dossou-Yovo P, Fatombi JK, Senou SF, Topanou N. Corrélation entre les lixiviats et les eaux souterraines au Bénin. *Int J Biol Chem Sci*. 2016;10(2):875-883.
- [8] Latifi S, Chaab S. Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en Algérie. *Synthese*. 2017;34:48-62.
- [9] Mehdi M, Djabri L, Hani A, Belabed BE. Impacts de la décharge de Tiaert sur la qualité des eaux. *Synthese*. 2007;16:64-73.
- [10] Williams AT, Rangel-Buitrago N. The past, present, and future of plastic pollution. *Mar Pollut Bull*. 2022;176:113429.
- [11] Mintenig SM, Int-Veen I, Löder MGJ, Primpke S, Gerdts G. Microplastic in effluents of waste water treatment plants. *Water Res*. 2017;108:365-372.
- [12] Moura DS, Pestana CJ, Moffat CF, Hui J, Irvine JTS, Lawton LA. Characterisation of microplastics. *Chemosphere*. 2023;333:138691.
- [13] Wang F, Wang B, Duan L, Zhang Y, Zhou Y, Sui Q, et al. Microplastics in wastewater sources in China. *Water Res*. 2020;182:115956.
- [14] Phuong NN, Poirier L, Lagarde F, Kamari A, Zalouk-Vergnoux A. Microplastic in coastal sediments. *Environ Pollut*. 2018;243(Pt A):228-237.
- [15] Gao D, Li XY, Liu HT. Microplastics in sewage sludge. *Sci Total Environ*. 2020;742:140355.
- [16] Guruge KS, Goswami P, Kanda K, Abeynayaka A, Kumagai M, Watanabe M, et al. Plastiome in aquatic environments. *J Hazard Mater*. 2024;471:134353.
- [17] Tian L, Chen J, Ji R, Ma Y, Yu X. Microplastics in agricultural soils. *Curr Opin Environ Sci Health*. 2021;23:100311.
- [18] Dris R, Gaspéri J, Saad M, Mirande C, Tassin B. Synthetic fibers in atmospheric fallout. *Mar Pollut Bull*. 2016;104(1-2):290-293.
- [19] Frère L, Maignien L, Chalopin M, Huvet A, Rinnert E, Morrison H, et al. Microplastic bacterial communities in the Bay of Brest. *Environ Pollut*. 2018;242(Pt A):614-625.

- [20] Yu X, Zhang Y, Tan L, Han C, Li H, Zhai L, et al. Microplastisphere and antibiotic resistance genes. *Environ Pollut.* 2022;310:119891.
- [21] Ali I, Konaté M. Zones de recharge des eaux au Niger. *Eur Sci J.* 2020;16(18).
- [22] Baali F, Rouabhia A, Kherici N, Djabri L, Bouchaou L, Hani A. Qualité des eaux souterraines en Algérie. *Estud Geol.* 2007;63:127-133.
- [23] Zhao Z, Zhao K, Zhang T, Xu Y, Chen R, Xue S, et al. Microplastic vertical transport in soil. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2022;247:114232.
- [24] André-Marie WM, Vallier M, Mermillod-Blondin F, Mourier B, Piegay H, Winiarski T, et al. Microplastic transport in rivers. 2022.
- [25] Goeppert N, Goldscheider N. Microplastic tracers in alluvial aquifer. *J Hazard Mater.* 2021;408:124844.
- [26] Song Z, Yang X, Chen F, Zhao F, Zhao Y, Ruan L, et al. Nanoplastics transport in aquifer media. *Sci Total Environ.* 2019;669:120-128.
- [27] Yang X, Tang DWS. Modeling microplastic transport through porous media. *J Hazard Mater.* 2024;484:136728.
- [28] Samandra S, Johnston JM, Jaeger JE, Symons B, Xie S, Currell M, et al. Microplastic in groundwater in Australia. *Sci Total Environ.* 2022;802:149727.
- [29] Mu H, Wang Y, Zhang H, Guo F, Li A, Zhang S, et al. Microplastics in groundwater in China. *Sci Total Environ.* 2022;839:156318.
- [30] Selvam S, Jesuraja K, Venkatramanan S, Roy PD, Kumari VJ. Microplastic as vector of heavy metals in India. *J Hazard Mater.* 2021;402:123786.
- [31] Panno SV, Kelly WVR, Scott J, Zheng W, McNeish RE, Holm N, et al. Microplastic in karst groundwater. *Groundwater.* 2019;57(2):189-196.
- [32] Wu B, Li LW, Zu YX, Nan J, Chen XQ, Sun K, et al. Microplastics in drinking-water source in China. *Environ Res.* 2022;214(Pt 3):114048.
- [33] Perraki M, Skliros V, Mecaj P, Vasileiou E, Salmas C, Papanikolaou I, et al. Microplastics in groundwater in Greece. *Water.* 2024;16(6):843.
- [34] Wisitthammassri W, Promduang P, Chotpanarat S. Microplastics at municipal landfill in Thailand. *J Contam Hydrol.* 2024;267:104455.
- [35] Dovonou FE, Alassane A, Adjahossou V, Agbodo BE, Djibril R, Mama D. Impacts de l'assainissement autonome sur la qualité des eaux de puits au Bénin. *Int J Biol Chem Sci.* 2018;11(6):3086-3099.
- [36] Koji E, Tchakonté I, Missoup DM, Onana FM, Fobane JL, Nola M. Qualité des eaux du fleuve Ntem au Cameroun. *Int J Biol Chem Sci.* 2022;16(4):1749-1764.
- [37] Gbamélé Kouassi S, Konan Kouakou S, Kouassi Kouakou L, Brou Loukou A, Konan Koffi F, Dongui BK. Contamination des eaux souterraines en Côte d'Ivoire. *Eur Sci J.* 2020;16(6):248.
- [38] Amaneesh C, Anna Balan S, Silpa PS, Kim JW, Greeshma K, Aswathi Mohan A, et al. Impacts of microplastics on phytoplankton. *Environ Sci Technol.* 2023;57(1):5-24.
- [39] Barletta M, Lima ARA, Costa MF. Microplastics in South American estuaries. *Sci Total Environ.* 2019;651(Pt 1):1199-1218.
- [40] Wu P, Lin S, Cao G, Wu J, Jin H, Wang C, et al. Toxicity of microplastics in the human body. *J Hazard Mater.* 2022;437:129361.
- [41] Bai CL, Liu LY, Hu YB, Zeng EY, Guo Y. Microplastics in food. *Sci Total Environ.* 2021;806(Pt 1):150263.
- [42] Dubey I, Khan S, Kushwaha S. Reproductive toxic effects of microplastics. *Front Toxicol.* 2022;4:901798.
- [43] Chen X, Zhuang J, Chen Q, Xu L, Yue X, Qiao D. PVC microplastics induced gut barrier dysfunction in mice. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2022;241:113809.
- [44] Dong C, Chen CW, Chen YC, Chen HH, Lee JS, Lin CH. Polystyrene microplastic pulmonary toxicity. *J Hazard Mater.* 2020;385:121575.
- [45] Jing J, Zhang L, Han L, Wang J, Zhang W, Liu ZY, et al. Microplastics induced hematopoietic damages. *Environ Int.* 2022;161:107131.
- [46] Li S, Gu X, Zhang M, Jiang Q, Xu T. Microplastics caused kidney inflammation in mice. *Sci Total Environ.* 2024;922:171817.
- [47] Jin H, Yan M, Pan C, Liu Z, Sha X, Jiang CH, et al. Microplastics induced male reproductive toxicity in mice. *Part Fibre Toxicol.* 2022;19:13.
- [48] Zhang Y, Wang X, Zhao Y, Zhao J, Yu T, Yao Y, et al. Reproductive toxicity in female mice. *Environ Pollut.* 2023;327:121482.
- [49] Zhao T, Shen L, Ye X, Bai G, Liao C, Chen Z, et al. Microplastics affects male fertility in mice. *J Hazard Mater.* 2023;445:130544.

Analyse du potentiel énergétique des hydroliennes pour l'amélioration de la desserte en eau potable dans la ville de Kenge, RDC : Cas de la Rivière Bakali

Madiumba, B.A.J¹; Dituba, N.G^{1,2}, Luwesi, N.C^{1,3}, Kintu, M.D¹, Kibungu, H.B^{1,5}, Birikomo, M.J^{1,6}, Kimvwela, S.H¹, Lukuke, A.Y¹, Ntumba, J.^{4,7} and Raphael M. Tshimanga¹

¹Ecole Régionale de l'Eau (ERE) & Centre de Recherche en Ressources en Eau du Bassin du Congo (CRREBaC), BP 117 Université de Kinshasa (UNIKIN), RD Congo ;

²UQAT-Québec/CANADA ;

³AUMT-Congo-Brazzaville ;

⁵Ministère des ressources Hydrauliques ;

⁶Institut Supérieure Pédagogique et Technique de Kinshasa ;

⁷Institut Supérieure de Technique Médicale de Kinshasa en RDC.

Résumé

Le recours exclusif aux énergies fossiles pour la production d'électricité par des centrales thermiques afin d'alimenter les systèmes d'eau potable ne garantit pas une exploitation optimale des ressources en eau. Cette étude vise à analyser les potentialités énergétiques de la rivière Bakali pour la valorisation de l'énergie électrique hydrolienne, afin de faire face à l'utilisation de générateurs diesel, confrontés aujourd'hui à l'augmentation du prix des carburants dans la ville de Kenge. En effet, les coûts élevés de transport de ces carburants dans des régions souvent difficiles d'accès limitent le temps de fonctionnement des usines de production d'eau potable, avec pour conséquence un faible taux de desserte en eau potable. Pour ce faire, les paramètres hydrométriques permettant d'améliorer le rendement de la roue de l'hydro-générateur ont été utilisés, ainsi que différentes formules pour déterminer les caractéristiques de l'hydrolienne flottante, exploitables en fonction des opportunités offertes par la rivière Bakali. Les résultats ont montré que, pour une plage de vitesse d'écoulement de l'eau de la rivière de 2,5 à 3 m/s, la puissance effective développée serait de 7 à 11 kW et le nombre d'hydroliennes dans le parc serait de 29 à 17. De même, pour une vitesse d'écoulement de 3 à 3,5 m/s, la puissance effective serait de l'ordre de 17 à 19 kW avec un parc de 17 à 11 hydroliennes, répondant ainsi à un besoin énergétique de 200 kWh nécessaire au fonctionnement de l'usine de production d'eau potable de la ville de Kenge.

Mots clés : Potentialités énergétiques, Énergie renouvelable, approvisionnement en eau potable, dimensionnement de l'hydrolienne, Ville de Kenge.

Analysis of the energy potential of tidal turbines for improving drinking water supply in the town of Kenge, DRC: Case of the Bakali River

Abstract

The aim of this study is to harness the electrical energy of tidal turbines to replace the use of diesel generators, which are currently facing rising fuel prices and the high cost of transporting these fuels to regions that are often difficult to access. This situation limits the operating time of drinking water production plants and adversely affects the low level of service in the town of Kenge. To address this, we used hydrometric parameters to improve the efficiency of the hydro generator wheel, as well as various formulas to determine the characteristics of the floating tidal turbine that can be operated according to the opportunities offered by the Bakali River. The results showed that, for a river flow speed range of 2.5 to 3 m/s, the effective power developed would be 7 to 11 kW, and the number of tidal turbines in the park would be 29 to 17. Similarly, for a flow speed of 3 to 3.5 m/s, the effective power would be in the range of 17 to 19 kW with a fleet of 17 to 11 turbines, sufficient to meet the energy requirement of 200 kWh needed to operate the drinking water production plant in the town of Kenge.

Keywords: Energy potential, Renewable energy, drinking water supply, tidal turbine sizing, Kenge town.

¹ Corresponding author: arnoldjonasmadiumba@gmail.com

I. INTRODUCTION

L'eau est une source d'énergie très importante à l'échelle mondiale, pourtant seulement environ 20 % de son potentiel est utilisé. Dans le domaine de l'énergie, on pense d'abord aux grands barrages, mais les innovations exploitant des volumes d'eau moins importante et nécessitant des travaux moins gigantesques se multiplient. C'est notamment le cas des hydroliennes, développées pour exploiter l'énergie marine et fluviale (Pautret, 2016).

Les hydroliennes permettent de convertir l'énergie cinétique des courants d'eau naturels tels que les fleuves, les rivières ou les marées, ainsi que des courants marins stables, en électricité. Elles fonctionnent comme des éoliennes subaquatiques, dont les pales sont mises en mouvement par la force des courants marins (océaniques ou de marées) ou fluviaux afin de produire de l'énergie électrique (Thierry, 2015).

L'hydrolienne est une machine entraînée par les courants marins et produit de l'énergie électrique qui est ensuite réexportée vers la terre. Son concept est originale car elle n'est pas située sous l'eau mais en surface. La principale différence avec les hydroliennes marines réside dans la capacité de production : la puissance des hydroliennes marines est de l'ordre de quelques GW, alors que celle des hydroliennes fluviales flottantes varie en termes de kW (TPE, 2013).

La technologie hydrolienne est très prometteuse, car elle vise deux types de marchés : le marché des pays industrialisés et celui des pays en voie de développement. Pour le premier, elle permettrait de réaliser la transition énergétique en passant d'une énergie carbonée à une énergie renouvelable, et pour le second, elle contribuerait à augmenter la production d'électricité et faciliterait son accès à une plus grande partie de la population, comme celle d'Afrique dont les deux tiers n'ont pas accès à l'électricité (Schloune et al., 2016). Le recours exclusif aux énergies fossiles pour la production d'électricité par des centrales thermiques afin d'alimenter les systèmes d'eau potable ne garantit pas une exploitation optimale des ressources en eau (Hassou et al., 2011).

En effet, l'utilisation de générateurs diesel est confrontée à l'augmentation du prix des carburants, ainsi qu'aux coûts de transport du carburant dans des régions souvent difficiles d'accès, sans oublier les coûts d'exploitation et de maintenance dans ces zones isolées (Mohomard, 2020). De plus, l'efficacité énergétique des générateurs diminue lorsqu'ils fonctionnent à faible charge (Grégoire, 2013).

Dans le souci de réduire le déficit et d'améliorer l'accès à l'électricité, le gouvernement de la RDC a mis en place la loi n°14/011 du 17 juin 2014, complétée par la loi n°18/031 du 13 décembre 2018, relative à la libéralisation du secteur de l'électricité pour permettre le développement tout en favorisant le partenariat public-privé (UNDP-CD, 2022). Ainsi, la migration du système d'exploitation d'eau potable à régime thermique vers une approche thermique-hydrolienne pour l'amélioration de la desserte en eau potable et la réduction de l'empreinte carbone permettra d'éradiquer le déficit hydrique de la population ainsi que les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Dans cet article, il est présenté les opportunités offertes par la technologie des hydroliennes flottantes de la rivière Bakali pour la production d'électricité, en exploitant la vitesse d'écoulement de ce cours d'eau afin d'améliorer la desserte en eau potable dans la ville de Kenge.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Présentation du Milieu d'étude

Les activités sur le terrain ont consisté à analyser les opportunités offertes par l'énergie hydrolienne de la rivière Bakali, située dans la ville de Kenge, province du Kwango en République démocratique du Congo. La ville de Kenge est située dans la province de Kwango, à une altitude de 556 m, avec les coordonnées géographiques suivantes (figure 1): Latitude : 4° 49'60" Sud et Longitude : 16° 54' 0" Est, et une superficie de 1 812 600 hectares, soit 18 126 km² (Omasombo et al., 2012).

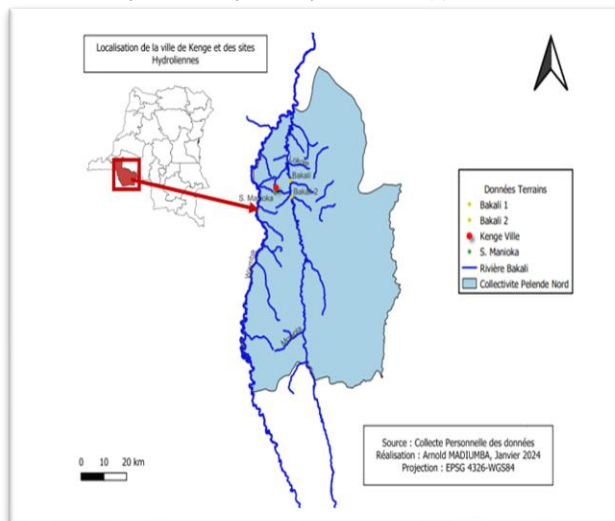


Figure 1 : Carte de la localisation de la ville de Kenge et des sites hydroliennes

2.2. Collecte des données

Durant cette étude, différents équipements et matériels ont été employés pour mesurer les paramètres physico-chimiques et hydrométriques de la rivière Bakali. Un GPS de marque GARMIN 64SX a été utilisé pour déterminer les coordonnées géographiques, et une sonde multiparamétrique de marque HANNA pour prélever les paramètres physico-chimiques de l'eau de la rivière Bakali, tels que la température, le pH, la conductivité, la turbidité et la salinité.

Pour prélever les paramètres hydrométriques de la rivière, un ruban métrique de 50 mètres, un rouleau de fil nylon de 50 mètres, un rouleau de fil nylon de 3,5 mm de 100 mètres, une pirogue motorisée de 8 mètres de long, un bloc de moellon de 20 kg, des bouteilles en plastique de 30 cl et un chronomètre ont été utilisés (figures 2 et 3).

Figure 2. Quelques matériels utilisés pour les prélèvements des données dans la rivière Bakali.



Figure 2.1 Technique de sondage de la rivière Bakali



Figure2.2 Prélèvement des paramètres physico-chimiques de la rivière Bakali



Figure 3: Exploration pour la recherche de différentes données optimales pour l'implantation du parc hydrolienne sur la rivière Bakali.

2.3. Analyse de données : Dimensionnement de l'hydrolienne flottante nécessaire pour la rivière Bakali

Pour estimer la potentialité énergétique hydrolienne de la rivière Bakali, il a été procédé de la manière suivante :

a) Puissance mécanique brute ou théorique

La puissance mécanique brute d'une hydrolienne flottante est obtenue par la relation :

$$P_{méc}(b) = \frac{\rho \times V^2}{2} \times S \times \mu \quad (W) \quad (1)$$

où :

ρ est la masse volumique de l'eau (1000 kg/m³) ;

V est la vitesse de l'écoulement de l'eau (en m/s) ;

μ est la vitesse d'entraînement de la roue (en m/s) ;

S est la surface immergée de la roue (en m²).

Sachant que pour une roue par dessous : $\mu = \frac{V}{2}$, il vient cependant :

$$P_{méc}(b) = \frac{\rho \times V^3}{4} \times S \quad (W) \quad (2)$$

b) Puissance effective

$$P_{méc}(eff) = \frac{\rho \times V^3}{4} \times S \times \eta(\text{méc}) \quad (W) \quad (3)$$

où $\eta(\text{méc})$ est le rendement mécanique de la roue (valeur courante autour de 0,40 à 0,50).

Il est à noter que le rendement hydraulique tend vers un et la vitesse d'écoulement doit être supérieure ou égale à 2 m/s.

c) Surface immergée (S) :

$$S = L \times i \quad (4)$$

où : L est la largeur de la roue (turbine) ;

i est l'immersion de la roue (turbine).

Signalons que la valeur de i varie de 0,25 à 0,70 m et la largeur de la roue est inférieure ou égale à la moitié de la largeur du cours d'eau (ou de la rivière).

La profondeur minimale d'un cours d'eau capable d'abriter une hydrolienne flottante doit être de 60 cm.

d) Rayon de la roue (R)

$$R = \frac{i}{2(1-\cos\alpha)} \quad (m) \quad (5)$$

α est l'angle d'inclinaison des aubes (sa valeur est comprise entre 30° et 45°)

e) Rayon moyen de la roue (Rm)

$$R_m = R - \frac{i}{2} \quad (m) \quad (6)$$

f) Nombre d'aubes par compartiment (η_{ac})

$$\eta_{ac} = \frac{360^\circ}{\alpha} \quad (7)$$

g) Vitesse de rotation de la roue (Nr)

$$Nr = \frac{15V}{\pi R_m} \quad (tr/mn) \quad (8)$$

h) Puissance électrique (Pél)

$$\begin{aligned} P(\text{él}) &= P(\text{eff}) \times n(\text{th}) \times n(\text{g}) \quad \text{en VA} \\ P(\text{él}) &= P(\text{eff}) \times n(\text{th}) \times n(\text{g}) \times \cos\varphi \quad \text{en W} \end{aligned} \quad (9) \quad (10)$$

où :

η_{th} est le rendement convertisseur (multiplicateur) de vitesse ;

η_g est le rendement du générateur électrique ;

$\cos\varphi$ est le facteur de puissance du générateur (qui peut être la moyenne de $\cos\varphi$ des récepteurs dans le réseau).

i) Vitesse du fluide associée

Elle est obtenue par le théorème de Bernoulli, en négligeant les pertes de charge dues à la vanne :

$$V = \sqrt{2g(H - A)} \quad (11)$$

où :

V est la vitesse du fluide attaquant la roue ;
g est l'accélération de la pesanteur;
H est la hauteur du fluide devant la vanne ;
A est la hauteur supérieure de la lame d'eau lors de son entrée dans la roue.

j)Vitesse de rotation du générateur (Ng)

Le générateur électrique utilisé dans cette centrale est de type asynchrone.
Cependant :

$$Ng = \frac{60f}{p}(1 - g) \text{ en tr/min} \tag{12}$$

où :
f est la fréquence du réseau (en Hz) ;
p est le nombre de paires de pôles ;
g est le glissement (sa valeur est négative, dans le cas d'un générateur électrique).

k) Rapport d'accouplement (turbine – alternateur)

$$K = \frac{Ng}{Nr} \tag{13}$$

l)Puissance installé globale de la centrale

$$Pi \text{ (gb)} = \sum_{i=1}^n Pél(i) \text{ en (W) ou (kW)} \tag{14}$$

3. Résultats

3.1. Caractéristiques hydrométriques de la rivière

Dans le souci de migrer de la source d'énergie thermique polluante que la REGIDESO S.A. exploite pour la production d'eau potable à une source renouvelable de type hydrolienne, cette étude a permis l'exploration de la rivière Bakali, située à proximité de la ville de Kenge, afin d'évaluer les opportunités qu'elle offre pour l'exploitation d'un parc hydrolien. Les caractéristiques de la rivière Bakali sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristique de la rivière Bakali

Caractéristiques	Valeur
Largeur	55 m
Vitesse moyenne	1.8 à 2 m/s
Débit moyen	154 m³/s
Profondeur moyenne	3.5 m
Température	25°C
pH	6.5
Conductivité	4.05 µs/L
Turbidité	1.02 NTU
Salinité	1.001 mg/L

Le tableau 1 présente les caractéristiques hydrométriques et les paramètres physico-chimiques de la rivière Bakali, notamment la largeur, la vitesse moyenne de l'écoulement de l'eau, le débit moyen, la profondeur, la température, le pH (potentiel hydrogène), la conductivité, la turbidité et la salinité.

3.2. Opportunité énergétique hydrolienne de la rivière Bakali

Les hydroliennes permettent de convertir l'énergie cinétique des courants d'eau naturels en électricité (Thierry, 2015). La transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique est réalisée par des turbines hydrauliques, également appelées roues hydrauliques (Gaullier, 2005).

Pour une plage de vitesse d'écoulement de 2 m/s à 2,5 m/s, une roue hydrolienne de 5 m de largeur et une immersion de 70 cm, la puissance effective offerte par la rivière Bakali varie de 3,5 kW à 7 kW. Le nombre d'hydroliennes dans le parc nécessaire pour répondre au besoin de l'usine de la REGIDESO S.A. à Kenge, qui est de 200 kW, serait alors de 57 à 29.

Pour une plage de vitesse d'écoulement comprise entre 2,5 m/s et 3 m/s (figure 4), la puissance effective serait de 7 kW à 11,8 kW, et le nombre d'hydroliennes dans le parc serait de 29 à 17. Si la vitesse varie de 3 m/s à 3,5 m/s, cette puissance augmenterait de 11,8 kW à 18 kW, et le nombre d'hydroliennes dans le parc serait de 17 à 11.

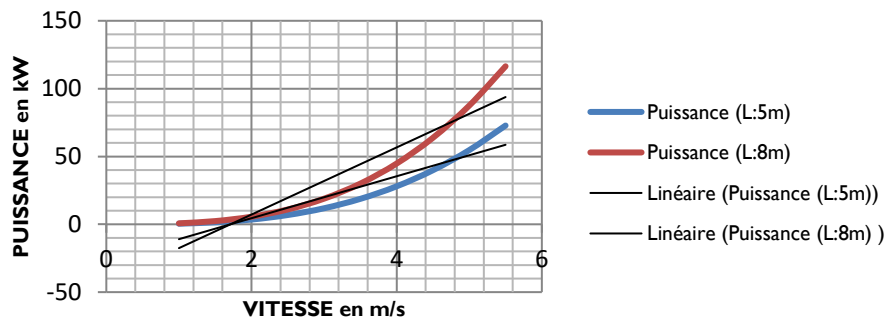


Figure 4. Courbe de la puissance en fonction de la vitesse d'écoulement du cours d'eau

4. DISCUSSION

En République Démocratique du Congo, les hydroliennes sont largement sous-étudiées malgré leur grand intérêt en raison de leur impact environnemental limité (pas besoin de génie civil ou de barrages), de leur polyvalence dans les pays en développement (alimentation de sites isolés ou soutien aux réseaux faibles) et de leur potentiel de production (Roye et al., 2007).

Après une analyse approfondie de la rivière Bakali, nos résultats ont montré que, pour une plage de vitesse d'écoulement de 2,5 à 3 m/s, cette dernière peut fournir une puissance effective variant de 6,8 kW à 11,8 kW avec une roue de 2,61 m de diamètre et 5 m de largeur. Le nombre d'hydroliennes dans le parc nécessaire pour satisfaire le besoin de l'usine de production d'eau potable à Kenge, qui utilise 200 kW, serait alors de 29 à 17.

Enfin, pour un scénario de vitesse d'écoulement de 3,5 m/s à 4 m/s, la puissance effective développée serait comprise entre 18 kW et 28 kW, et le nombre d'hydroliennes dans le parc serait de 11 à 7.

Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Michel et al. (1995), qui ont réussi à produire 36 kW avec un parc de 3 hydroliennes de 12 kW chacune, installé sur la rivière Lukenie à Kole dans la province de Sankuru en RDC. Cette centrale hydrolienne, avec des caractéristiques hydrométriques de 7 à 20 m de profondeur, 70 m de largeur et une vitesse d'écoulement de 2,55 m/s, a permis d'alimenter l'hôpital général, l'école, l'éclairage public et l'évêché.

Un autre cas est celui présenté par le magazine de la métropole de Lyon (2019), qui décrit les opportunités d'un parc composé de 4 hydroliennes flottantes de type fluvial de 80 kW chacune, permettant d'alimenter environ 400 foyers hors chauffage et d'éviter l'émission de 300 tonnes de CO₂ par an grâce à 1 GWh d'électricité produite.

De même, Marin (2018) montre que la machine hydrolienne de 20 kW installée à Boussalla au Congo Brazzaville dans le cadre du projet hydrolienne de 2018 a permis de fournir de l'énergie électrique à un bâtiment contenant des installations importantes pour ce village non électrifié.

La fondation ENGIE (2021) rapporte, dans le cadre du projet Pot@mai à l'île Mbamou au Congo Brazzaville, l'installation sur le fleuve Congo d'une hydrolienne flottante dite fluviale Hydro-GEN produisant 10 kW d'électricité, nécessaire pour répondre aux besoins de 3000 personnes habitant dans trois villages environnants.

IRAM (2020) décrit l'installation d'un micro-réseau hybride solaire-hydrolien composé de 12 modules de 300 W chacun, d'une puissance totale de 3,6 kW, nécessaire pour répondre aux besoins quotidiens des habitants du village de Moulenda, situé près de la rivière Loufoulakar au Congo Brazzaville.

Pautret (2016), dans son article sur les hydroliennes fluviales, atteste que des profondeurs d'eau minimales sont requises : 2,2 mètres pour les hydroliennes à un étage et 4,2 mètres pour celles à deux étages. Les hydroliennes fabriquées par Hydro-Quest peuvent fournir des puissances de 40 kW à 80 kW selon leurs configurations à un étage ou à deux étages. Si la machine est sans carénage, le rendement serait de 20 à 35 %, alors qu'avec carénage, il est estimé à environ 60 %.

Toujours dans ce même article, l'auteur signale que cette machine est déjà mise en place en deux endroits bien différents : sur le fleuve Oyapock en Guyane pour alimenter le village de Camopi à la frontière avec le Brésil, et sur la Loire à Orléans, qui est la première reliée au réseau français.

5. CONCLUSION

Cette étude avait pour but de valoriser l'énergie électrique hydrolienne afin de remplacer l'utilisation de générateurs diesel, confrontés aujourd'hui à l'augmentation du prix des carburants, pour améliorer le taux de desserte en eau potable dans la ville de Kenge.

Pour ce faire, Les paramètres hydrométriques permettant d'améliorer le rendement de la roue de l'hydro-générateur ont été utilisés, ainsi que différentes formules pour déterminer les caractéristiques de l'hydrolienne flottante exploitables en fonction des opportunités offertes par la rivière Bakali. Les résultats de cette étude ont montré que la rivière Bakali offre une opportunité significative de fournir une énergie renouvelable propre, nécessaire pour améliorer la desserte en eau potable en augmentant le temps de production dans la ville de Kenge.

Ainsi, le recours à l'énergie hydrolienne constitue une solution efficace et efficiente pour résoudre la problématique de l'approvisionnement en eau potable dans la ville de Kenge. En outre, des études d'impact environnemental et de retour sur investissement s'avèrent importantes pour la mise en œuvre de ce projet.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Foundation Engie, 2021.** Advancement du projet Pot@maï à Louboussa (République du Congo).
- [2] **Gaullier V., 2005.** TPE Hydrolienne & Eolienne. Eolienne le grand vent de la maturité. Science et vie. N°1053.
- [3] **Hassou M. E. B. et Berdai M., 2011 :** Adaptation du système eau – énergie au changement climatique : Etude nationale – Maroc, rapport final ;
- [4] **IRAM, 2020.** Le projet Pico-hydroliennes de Moulenda au Congo Brazzaville.
- [5] **Léna G., 2013 :** Mini-réseaux hybrides PV-diesel pour l'électrification rurale : Présentation générale et recommandations pour leur déploiement. Page 11.
- [6] **Marin, 2018.** Une hydrolienne française bientôt installée au Congo.
- [7] **MET' 2019.** Des hydroliennes sur le Rhône : une première mondiale. Le magazine de la métropole de Lyon.
- [8] **Mohomard I., 2020 :** Optimisation opérationnelle, écologique et énergétique des groupes électrogènes diesel, Thèse, Université du Québec à Rimouski (UQAR) ;
- [9] **Omasombo T. J., Zenga K. J., Guillaume L., Ngaley Z. M., Zana E. M., Edwine S., Krawczyk J. et Laghmouch M., 2012.** Kwango, le pays de Ba Lunda. ISBN RDC : 978-99951-74-01-4. Pp. 17-301.
- [10] **Pautret M. L. et Simon J. F., 2016.** Les hydroliennes fluviales. Encyclopédie de l'énergie, article 106.
- [11] **Roye D., Andreica M., Seddik B., et Guiraud J., 2007 :** Intégration d'une hydrolienne au réseau, MPPT et qualité de l'énergie. Laboratoire de Génie Electrique de Grenoble, 'G2ELab' UMR 5269 CNRS/INPG/UJF, Grenoble, France. Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°4 (2008) 493 – 502 DOI.
- [12] **Schloune E, Hanus V. et Virton P., 2016.** Etude de faisabilité technique : Conception d'un nouveau type d'hydrolienne. Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels n°30, 2016.
- [13] **Therrien M., Gwet G., Lejeune A. et Kinyoung T., 1995.** Guide de la filière hydro-électrique. 2^{ème} Trimestre 1995.
- [14] **Thierry M., 2015.** Les hydroliennes. Encyclopédie de l'énergie. Article 068.
- [15] **TPE, 2013.** Hydroliennes Lycée Naval.
- [16] **UNDP – CD, 2022 :** Politique nationale de l'énergie de la RDC, version du 18/08/2022.

Conformité aux règles éthiques

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt. La recherche sur le terrain n'a présenté aucune menace pour les communautés ou les espèces protégées. Aucune organisation informelle ou légale n'a joué un rôle clé dans la conception de l'étude, la collecte et l'analyse des données en vue de décider du résultat final de l'étude. La décision de préparer le manuscrit et de le publier a été prise uniquement par les auteurs.

Étude des teneurs en éléments traces métalliques (plomb, arsenic et cadmium) des eaux de la lagune Ébrié dans quelques zones à fortes pressions urbaines : secteurs Plateau, Cocody, Koumassi et Zimbabwe

Assemian-Niango Sylvie¹, Aka Charles Alberic² and Kouakou Jean Marie³

(1,2) Centre de Recherches Océanologiques (CRO), BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire

(3) Direction de l'Évaluation et du Patrimoine Hydraulique-Direction Générale des Ressources en Eau- Ministère des Eaux et Forêts ; Abidjan, Côte d'Ivoire

Résumé

Dans le but de connaître l'état sanitaire de la lagune Ébrié en vue de préserver sa qualité écologique, l'objectif de la présente étude est de déterminer le niveau de contamination en éléments traces métalliques (Plomb, Arsenic et Cadmium) des eaux de cette lagune dans des zones urbaines à fortes pressions anthropiques. Pour ce faire des campagnes ont été réalisées dans cette lagune de juillet 2022 à février 2023. Des prélèvements saisonniers d'échantillons d'eaux ont été faits en quatre (4) stations réparties sur la lagune Ébrié reliant les communes du Plateau, de Cocody, de Koumassi et de Port-Bouët (Zimbabwe). La température et la salinité des eaux lagunaires ont été mesurées in situ à l'aide d'un multiparamètre de marque HANNA HI 9829. Les dosages des orthophosphates et des nitrates ont été faits à l'aide d'un spectrophotomètre de marque HACH DR 900 et ceux des métaux lourds par un Spectromètre d'Absorption Atomique (SAA) de marque Agilent et de modèle 240 AA. Les teneurs en plomb (1069 à 1230 µg/L), arsenic (3939 à 4764 µg/L) et cadmium (59 à 86 µg/L) sont au-dessus des normes ivoiriennes (Arrêté interministériel N° 0168/MSHP/MINEF du 03.08.2020) qui sont 50 µg/L pour le Plomb, 100 µg/L pour l'Arsenic et 5,0 µg/L pour le Cadmium.

Mots clés : Lagune Ébrié, Eaux, Zones urbaines, Paramètres physico-chimiques, Métaux lourds

Study of heavy metal contents (Lead, Arsenic and Cadmium) in the waters of the ÉBRIÉ lagoon in some areas with high urban pressure: plateau, Cocody, Koumassi and Zimbabwe sectors

Abstract

In order to know the health status of the Ébrié lagoon in order to preserve its ecological quality, the objective of this study is to determine the level of contamination in trace metal elements (Lead, Arsenic and Cadmium) of the waters of this lagoon in urban areas with high anthropogenic pressures. To do this, campaigns were carried out on this lagoon from July 2022 to February 2023. Seasonal water sample collections were taken at four (4) stations distributed over the Ébrié lagoon connecting the municipalities of Plateau, Cocody, Koumassi and Port-Bouët. The temperature, salinity and dissolved oxygen contents of the lagoon waters were measured in situ using a HANNA HI 9829 multiparameter. The orthophosphate and nitrate measurements were carried out using a HACH DR 900 spectrometer and those of heavy metals by an Agilent Atomic Absorption Spectrometer (AAS) model 240AA. The values are above the Ivorian standards (Interministerial Order No. 0168/MSHP/MINEF of 03.08.2020) which are 50 µg/L for Lead, 100 µg/L for Arsenic and 5.0 µg/L for Cadmium.

Keywords: Ébrié Lagoon, Waters, Urban areas, Physicochemical parameters, Heavy metals

¹ Corresponding author: asvica@yahoo.fr

INTRODUCTION

Les éléments Traces Métalliques sont une menace pour les êtres vivants car ils ont de graves conséquences sur la santé humaine et l'environnement compte tenu de leur toxicité [4]. En outre les éléments traces métalliques tels que le plomb, l'arsenic et le cadmium ont un fort impact toxicologique sur les produits de consommation courante, sur l'homme ainsi que sur la faune et la flore aquatique [15]. Ce sont des polluants engendrés la plupart du temps par l'activité humaine. Ces éléments traces métalliques contaminent les milieux aquatiques via les rejets industriels, les pesticides, les eaux usées et s'accumulent dans les sédiments et les organismes vivants [13].

La lagune Ébrié qui est le système lagunaire le plus important de l'Afrique de l'Ouest est sujette à des contaminations en éléments traces métalliques. En effet, plusieurs études ont fait état de la contamination métallique importante de la zone urbaine de la lagune Ébrié [16, 6, 2, 5]. Cependant les études axées sur les zones d'intenses trafics lagunaires, de réparation de véhicule et d'engins motorisés et les zones de fortes pressions démographiques sont peu rapportées dans la littérature. En vue de préserver la qualité écologique de la lagune Ébrié, la présente étude a par conséquent pour objectif de déterminer l'impact des activités urbaines sur les eaux lagunaires en lien avec la présence de plomb, d'arsenic et de cadmium.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Des campagnes ont été réalisées dans la lagune Ébrié de juillet 2022 à février 2023. Des prélèvements saisonniers d'échantillons d'eaux ont été faits dans quatre (4) stations réparties sur la lagune Ébrié, reliant les communes du Plateau de Cocody, de Koumassi et le quartier Zimbabwe dans la commune de Port-Bouët (Figure 1).

Les coordonnées géographiques des stations sont présentées dans le tableau 1. Les paramètres physico-chimiques et les sels nutritifs ont été étudiés en vue de connaître les caractéristiques des eaux lagunaires. La température et la salinité, des eaux lagunaires ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multiparamètre de marque HANNA HI 9829. La transparence a été mesurée au disque de Secchi. Les dosages des orthophosphates et des nitrates ont été faits à l'aide d'un spectrophotomètre de marque HACH DR 900.

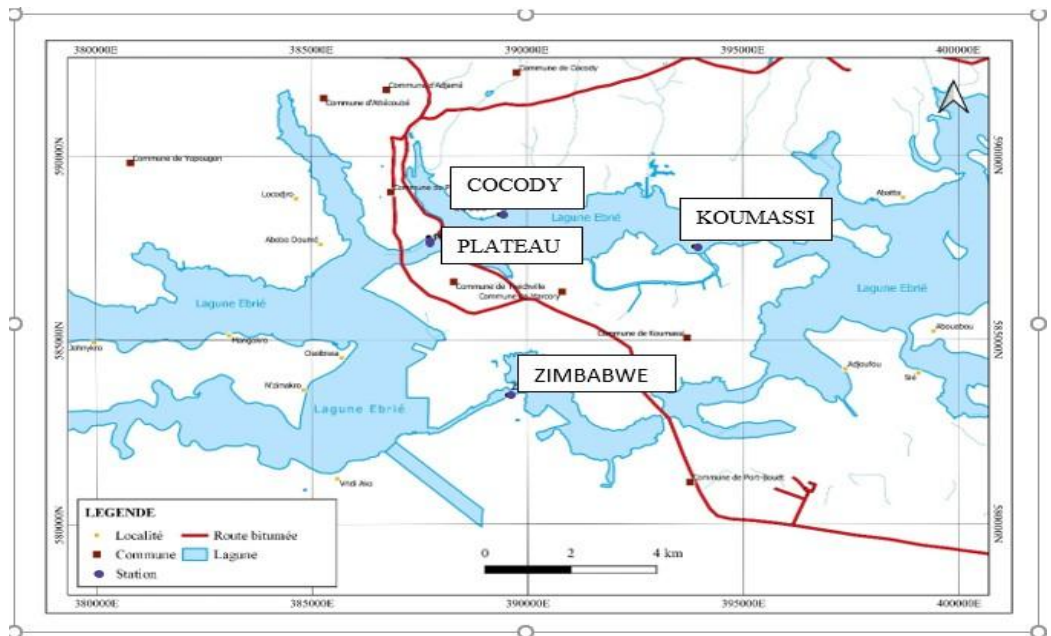


Figure 1 : Stations d'échantillonnage sur la lagune Ébrié (Source : Centre de Recherches Océanologiques (C.R.O.))

Tableau I : Coordonnées géographiques des stations d'échantillonnage

Stations	Noms stations	x	y	Altitudes
St1	plateau	0387713	0587789	4
St2	cocody	0389359	0588404	7
St3	koumassi	0393870	0587531	3
St4	zimbabwe	0389539	0583508	0

Analyse du plomb, de l'arsenic et du cadmium dans les échantillons d'eau

Préparation des échantillons

Acidification

Pour assurer un meilleur conditionnement des échantillons, tous nos échantillons sont acidifiés avec 5 mL d'acide nitrique (HNO3 65 %) pour 200 mL d'eau à analyser afin de ramener le pH de l'échantillon inférieur à 2, car l'acide nitrique concentré est un oxydant puissant qui dissout tous les métaux usuels [11].

Filtration

Après acidification, tous les échantillons sont filtrés au travers de membranes filtrantes de porosité 0,45 µm avec un appareillage de filtration en verre (filtration sous vide). Les filtrats sont récupérés dans des flacons propres afin de déterminer la teneur totale en plomb, en arsenic et en cadmium des échantillons d'eaux.

Conservation des échantillons

Avant l'analyse, les échantillons sont stockés à une température inférieure à 4° C et à l'abri de la lumière.

Résultats et discussion

Paramètres physico-chimiques et les sels nutritifs

Les températures des eaux lagunaires varient de 26,2 à 30,3 °C à la station 3 respectivement en petite saison sèche et en petite saison des pluies (Figure 2). Les températures minimales des eaux lagunaires enregistrées en petite saison sèche sont le fait du phénomène d'upwelling qui entraine la remontée des eaux froides océaniques dans les eaux lagunaires. Ces mêmes résultats ont été observés dans les lagunes Aby, Ébrié et Grand-Lahou par [12] et dans la lagune Aby par [3].

La salinité des eaux lagunaires varie de 1,2 ‰ à la station 3 en grande saison sèche à 48,1 ‰ à la station 4 en petite saison des pluies (Figure 3). La valeur minimale de salinité à la station 3 est due au fait que cette station est la plus éloignée du canal de vridi et par ricochet de l'océan Atlantique. En revanche les valeurs maximales de la salinité des eaux lagunaires au niveau de la station 4 (Zimbabwe) sont dues à la fois à la proximité de cette station de canal de vridi, aux intrusions d'eaux océaniques et au faible renouvellement des eaux au niveau de cette station. Ce constat a également été fait par[12] au niveau des lagunes de Grand-Lahou, Ébrié et Aby et par [1] au niveau de la côte Sud Liban.

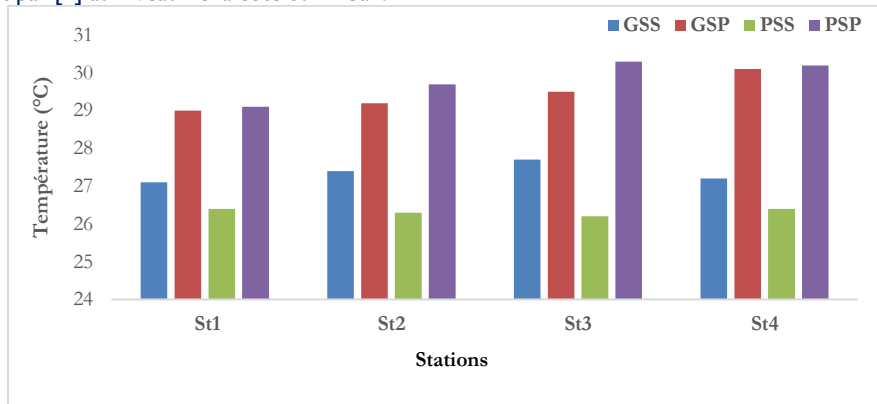


Figure 2 : Variation spatio-temporelle de la température des eaux lagunaires

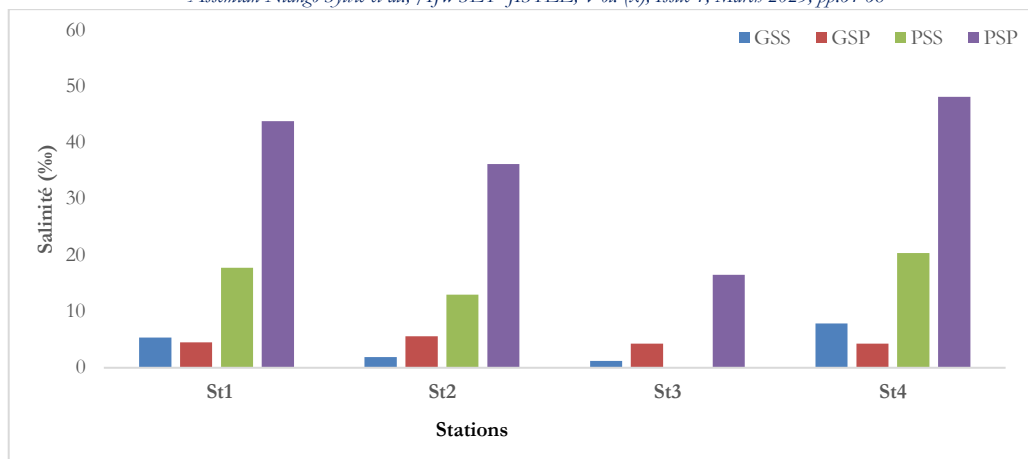


Figure 3 : Variation spatio-temporelle de la salinité des eaux lagunaires

Les teneurs en nitrates des eaux lagunaires varient de 0,43 à 6,2 mg/L respectivement dans la station 3 en grande saison des pluies et dans la station 4, en grande saison sèche (Figure 4). Celles des orthophosphates des eaux lagunaires varient de 0,14 mg/L à la station 4 en grande saison sèche à 0,88 mg/L à la station 2 au cours de cette saison (Figure 5). Les teneurs élevées des sels au cours des saisons sèches sont le fait des eaux usées domestiques et urbaines. Les faibles teneurs pendant les saisons pluvieuses sont liées également à la saison d'échantillonnage. En effet, en saison de crue des fleuves, il y a drainage de plusieurs déchets organiques (débris végétaux et animaux, déchets ménagers) par les fleuves, les eaux de pluies et les eaux de ruissellement vers la lagune. Cependant, ces éléments ne vont se décomposer qu'en saison sèche pour libérer les sels nutritifs d'où la faible concentration en saison pluvieuse. [7] a également observé les faibles valeurs de nitrates pendant la grande saison pluvieuse au niveau de la lagune Ouladine à Grand-Bassam. À cela s'ajoute le phénomène de dilution des eaux au cours des saisons pluvieuses.

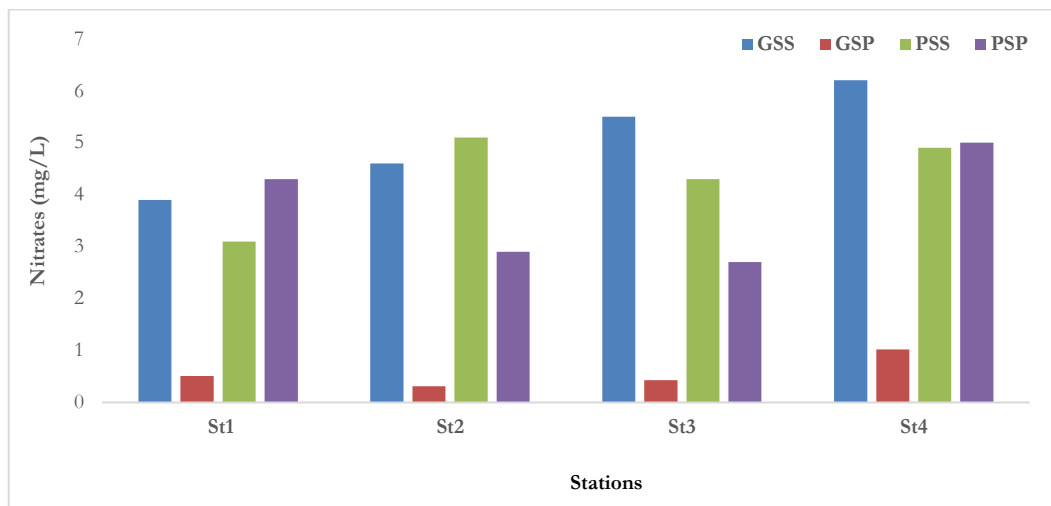


Figure 4 : Variation spatio-temporelle des teneurs en nitrates des eaux lagunaires

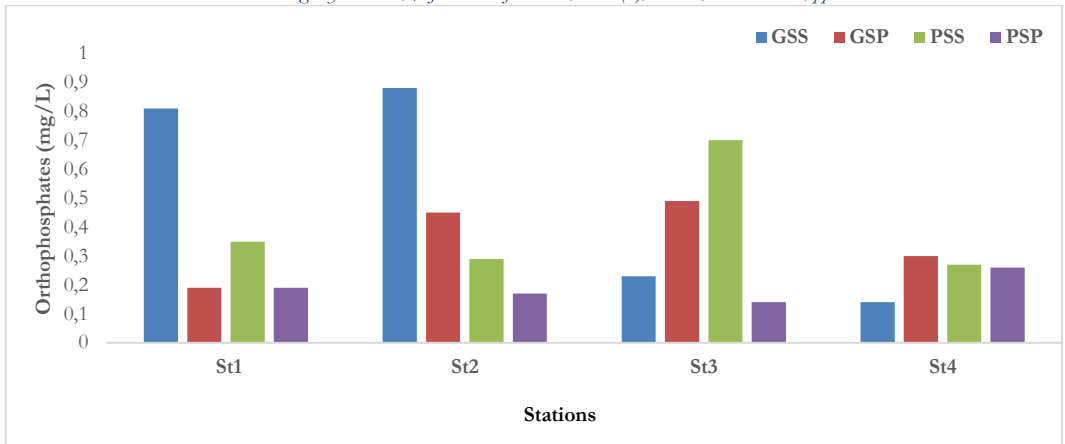


Figure 5 : Variation spatio-temporelle des teneurs en orthophosphates des eaux lagunaires

Éléments traces métalliques

Les figures 6, 7 et 8 montrent respectivement les teneurs en plomb, en arsenic et en cadmium des eaux de la lagune Ébrié au Plateau, à Cocody, à Koumassi et Zimbabwe (Port-Bouët).

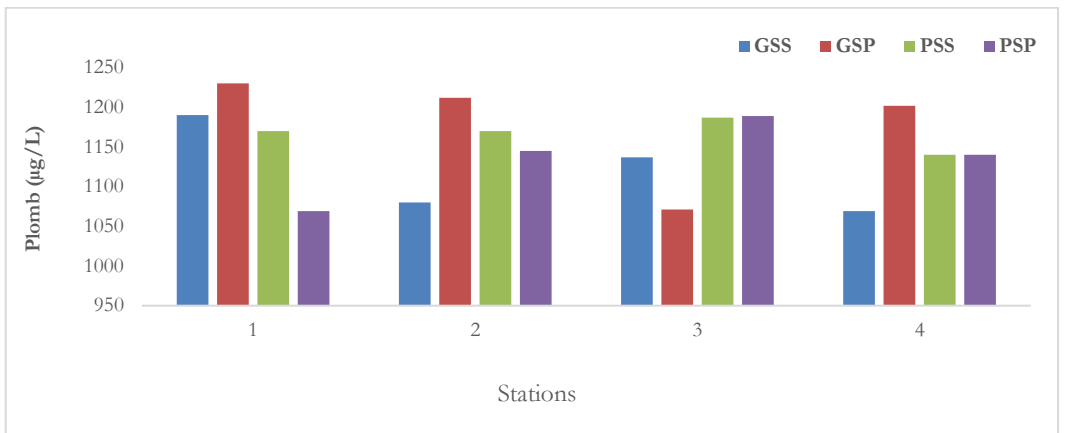


Figure 6 : Variations spatio-temporelles des teneurs en plomb des eaux de la lagune Ébrié

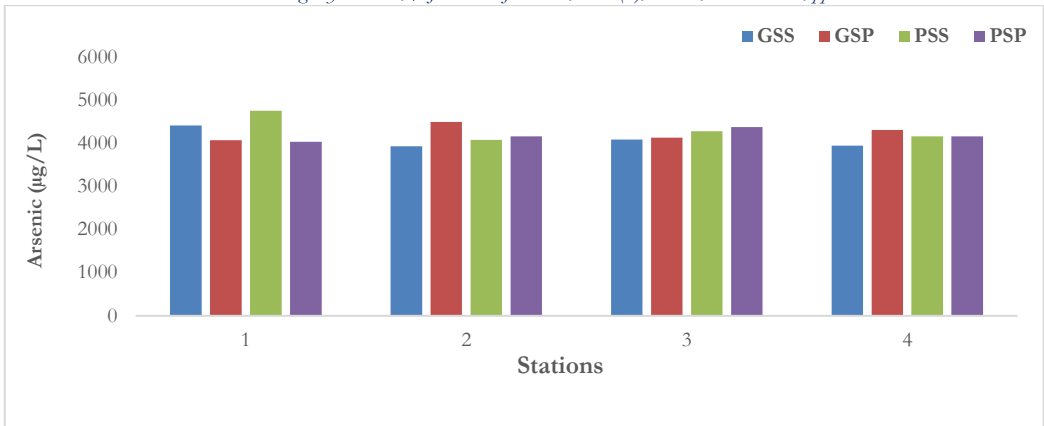


Figure 7 : Variations spatio-temporelles des teneurs en arsenic des eaux de la lagune Ébrié

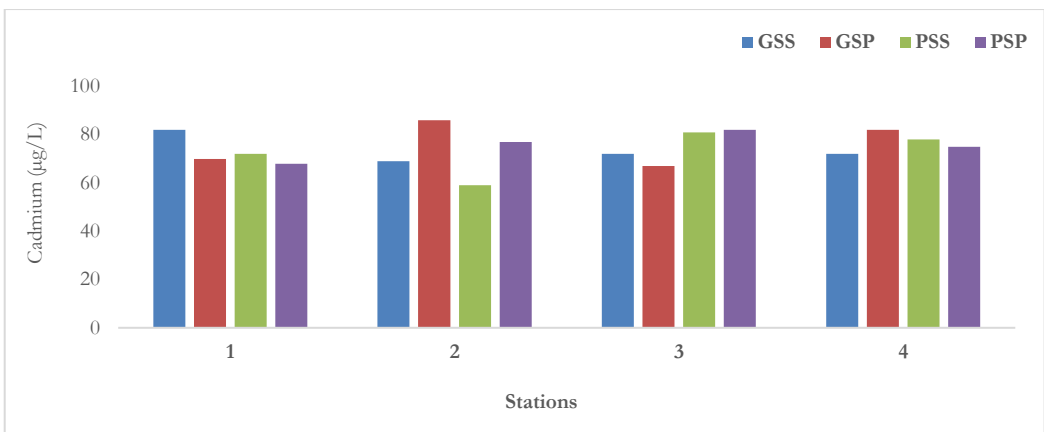


Figure 8 : Variations spatio-temporelles des teneurs en cadmium des eaux de la lagune Ébrié

Les concentrations en plomb dans les eaux lagunaires varie de 1069 µg/L dans les stations 1 et 4 respectivement en petite saison des pluies (PSP) et en grande saison sèche (GSS) à 1230 µg/L dans la station 1 en grande saison des pluies (GSP) (Figure 6). La station 1 en grande saison des pluies se singularise par la concentration la plus élevée en plomb (1230 µg/L). En dehors de cette concentration maximale, d'autres stations présentent également des concentrations élevées : c'est le cas des stations 2 et 4 en grande saison des pluies (GSP) avec des valeurs respectives de 1212 µg/L et 1202 µg/L. Ces concentrations élevées en plomb pourraient être dues à une forte pression anthropique (activités domestiques et industrielles, densité du trafic lagunaire). [10] ont également rapporté de fortes concentrations en plomb dans eaux de lagunes proches des habitations et des zones industrielles dans les sédiments de l'île de Sabah Borneo. Ces résultats montrent que les concentrations en plomb des eaux de lagune de la zone étudiée sont largement au-dessus de la valeur seuil de 50µg/L (Arrêté interministériel N° 0168/MSHP/MINEF du 03.08.2020).

Les concentrations en arsenic sont comprises entre 3939 µg/L en grande saison sèche à la station 2 et 4764 µg/L à la station 1 en petite saison sèche (Figure 7). Ces valeurs maximales pourraient s'expliquer par l'intensité du trafic lagunaire et par les eaux usées domestiques et industrielles. Elles sont élevées comparativement à la valeur seuil de 100 µg/L (Arrêté interministériel N° 0168/MSHP/MINEF du 03.08.2020). [9] ont rapporté des concentrations en arsenic dans l'estuaire Yalujiang, en Chine inférieures à celles obtenues dans la présente étude.

Les concentrations en cadmium ont varié de 59 à 86 µg/L dans la station 2 respectivement en petite saison sèche et en grande saison des pluies. Des concentrations élevées sont enregistrées à la station 1 en grande saison sèche, à la station 3 en petite saison sèche et en petite saison des pluies et à la station 4 en grande saison des pluies et en petite saison sèche. Ces valeurs élevées de cadmium dans les eaux de la lagune Ébrié pourraient s'expliquer par les effluents domestiques et industriels, par les eaux de ruissellement à la suite des précipitations et par l'intensité du trafic lagunaire. Toutes les concentrations de cadmium obtenues sont supérieures à la valeur limite 5 µg/L (Arrêté interministériel N° 0168/MSHP/MINEF du 03.08.2020). Ce résultat suggère que le cadmium présente un risque important pour les organismes aquatiques tels que les poissons. La concentration de cadmium (0,99 µg/L) rapportée par [8] dans les secteurs (I, II et III) de la lagune Ébrié est inférieure à celles obtenues dans la présente étude. Comparativement aux concentrations de plomb, de cadmium et d'arsenic (moyennes 3,40 µg/L, 10,97 µg/L et 7,30 µg/L respectivement) rapportées dans les secteurs IV et V de la lagune Ébrié par [14], les teneurs de ces éléments traces métalliques dans cette étude sont très élevées. Nos résultats montrent que les eaux lagunaires dans la zone de cette étude sont polluées.

CONCLUSION

Les valeurs de température et de salinité des eaux de la lagune Ébrié dans les secteurs du Plateau, de Cocody, de Koumassi et de Zimbabwé (Port-Bouët) sont caractéristiques des eaux lagunaires ivoiriennes. Les températures des eaux lagunaires sont minimales en petite saison sèche qui coïncide avec la période d'upwelling tandis que les valeurs de salinité sont maximales. En outre il existe un gradient croissant de salinité des eaux lagunaires des stations les plus continentales vers celles proches du canal de Vridi.

En ce qui concerne les éléments nutritifs, les eaux de la lagune Ébrié ont des teneurs élevées en nitrates et en orthophosphates au cours des saisons sèches.

Les éléments traces métalliques tels que le plomb, l'arsenic et le cadmium sont présents dans les eaux de la lagune Ébrié. Les valeurs sont au-dessus des normes ivoiriennes (Arrêté interministériel N° 0168/MSHP/MINEF du 03.08.2020) qui sont 50 µg/L pour le Plomb, 100 µg/L pour l'Arsenic et 5,0 µg/L pour le Cadmium. Ces éléments traces métalliques constituent donc une menace pour la vie aquatique et pour l'homme.

Références

- [1] Abboudi, A., Tabyaoui, H., El Hamichi, F., Benaabidate, L., & Lahrach, A. 2014. Étude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassinversant de Guigou, Maroc. *European Scientific Journal*, 10(23). ISSN : 1857-7881.
- [2] Ayénan M., Kouamé V., Koffi M., Ahmed A., Abiba S., et Boua C., 2019. Évaluation de la contamination des eaux de la lagune Ebrié (Zones IV et V), Côte d'Ivoire en arsenic, plomb et cadmium: variations spatio-temporelles et risques sanitaires. International Formulae Group. All rights reserved. 8124-IJBCS. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.45>.
- [3] Assemian-Niango S., 2017. Étude de la qualité chimique des eaux et contamination par les esters de l'acide phtalique des sédiments d'une lagune tropicale: Lagune Aby (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat à l'Université Nangui Abrogoua, 165 p.
- [4] Beriala B. & Belhani S. 2021. Élimination des métaux lourds par l'utilisation d'un nano-adsorbant à base de la biomasse. Thèse de Doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 66p.
- [5] Irié Bi T., Aka Na., Kando A., Coulibaly A., et Monde S., 2019. Enrichissement des sédiments de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) en éléments traces métalliques (ETM) : influence sur la qualité des sédiments et les organismes benthiques. *Journal of Applied Biosciences* 142: 14448 – 14463. ISSN 1997-5902.
- [6] Kakou C., Koffi M., Stéphane M., N'Guessan L., Albert T., 2018. Distribution trends and ecological risks of arsenic and trace metals in wetland sediments around gold mining activities in central-southern and southeastern Côte d'Ivoire. *Journal of Geochemical Exploration*. GEXPLO 6126. DOI: 10.1016/j.gexplo.2018.03.013.
- [7] Kamagaté, M. 2017. Distribution du phytoplancton dans la lagune Ouladine, Grand-Bassam (Côte d'Ivoire) [Mémoire de Master]. Université Félix Houphouët-Boigny, 56 p.
- [8] Kouassi, NLB, Yao KM, Trokourey A, Soro B. 2015. Distribution, Sources, and Possible Adverse Biological Effects of Trace Metals in Surface Sediments of a Tropical Estuary. *Environmental*.
- [9] Li H, Lin L, Ye S, Li H, Fan J. 2017. Assessment of nutrient and heavy metal contamination in the seawater and sediment of Yalujiang Estuary. *Mar. Pollut. Bull.*, 117(1-2): 499-506. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.01.069.

- [10] Praveena SM, Aris AZ, Radojevic M. 2010. Heavy metals and source in intertidal mangrove sediment of Sabah Borneo. *Island Environment Asia*, (3): 79-83.
- [11] Rodier, J., 2005. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles et eaux résiduelles et eaux de mer (8e éd.). Dunod, Paris.
- [12] Seu-Anoi, N., 2012. Structuration spatiale et saisonnière des phytoplanctoniques et variabilité des facteurs abiotiques dans trois complexes lagunaires de la Côte d'Ivoire (Aby, Ébrié, Grand-Lahou) [Thèse Unique]. Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, 135 p
- [13] Tcha D., 2021. Evaluation de la contamination des éléments traces dans les eaux et sédiments de la lagune de Lomé et bioaccumulation chez deux espèces de poisson. Doctorat de l'Université de Toulouse délivré par : Institut National Polytechnique de Toulouse (Toulouse INP) Discipline ou spécialité : Ecologie Fonctionnelle. 181p
- [14] Togbé A. M. O., K. V. Kouamé ; K. M. Yao, A. A. Ouattara, A. S. Tidou et B. C. Atsé, 2019. Évaluation de la contamination des eaux de la lagune Ebrié (Zones IV et V), Côte d'Ivoire en arsenic, plomb et cadmium: variations spatio-temporelles et risques sanitaires. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. Available online at <http://www.ifgdg.org> Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(2): 1162-1179, April 2019 ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print) .
- [15] Waseem A., Arshad J., Iqbal F., Sajjad A., Zahid M., et Murtaza G., 2014. Pollution Status of Pakistan: A Retrospective Review on Heavy Metal Contamination of Water, Soil, and Vegetables. *BioMed Research International*. Volume 2014, 29 pages.
- [16] Wognin A., Yao M., Fori J., Ané M., Aoua S., Sylvain M., et Kouamé A., 2017. Les éléments traces métalliques dans la lagune Ebrié : distribution saisonnière, niveau de contamination et qualité environnementale des
- [17] sédiments. *International Formulae Group*. All rights reserved. 2835-IJBCS. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v1i12.30>

Processus de salinisation des eaux d'une lagune et d'un aquifère littoral en Algérie

L. Djabri¹, N. Gaaloul², F. Halimi³, H. Bouguerra¹, A. Hani¹, S.E. Tachi¹, N. Boughrira¹ and Kibieche A⁴

1 Laboratoire Ressource en Eau & Développement Durable. Université Badji Mokhtar Annaba-Algérie-

2- Laboratoire de Recherche Valorisation Des eaux Non Conventionnelles INRGREF (Institut National de la Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts). Tunis, Tunisie.

3-Laboratoire de recherche en Géologie. Université Badji Mokhtar Annaba. Algérie

4-Ecole nationale d'Agriculture. Algérie

Résumé

La région, se situe dans le Nord-est algérien, se caractérise par l'interférence de plusieurs facteurs contribuant à la variation de la salinité des eaux.

-La géologie caractérisée par l'affleurement de formations métamorphiques (gneiss, cipolins,) et des formations sédimentaires (calcaires, argiles, grès, sables, évaporites,...), qui influencent la composition chimique des eaux soit en augmentant ou en diminuant la minéralisation des eaux.

-Le lac Fetzara, dont les eaux très chargées débouchent sur la Seybouse et les nappes par le biais de l'Oued Meboudja, modifiant la salinité des eaux.

-La mer, modifie également la salinité des eaux. Les pompages, entraînent un déséquilibre de l'interface eau douce-eau salée, d'où un accroissement de la salinité des eaux.

-Les sécheresses, entraînent une augmentation de la salinité des eaux par évaporation.

Les méthodes appliquées, montrent que la salinité observée provient de plusieurs facteurs.

Mots clés : Lac, Oued, aquifère Côtier, lagune littorale, salinité, Mer Méditerranée.

Salinization process of the waters of a lagoon and a coastal aquifer in Algeria

Abstract

The region studied is located in the North-East of Algeria, is characterized by the interference of several factors contributing to the variation of the salinity of the waters.

-Geology: characterized by the outcrop of metamorphic formations (gneiss, cipolins, etc.) and sedimentary formations (limestone, clays, sandstone, sands, evaporites, etc.), which influence the chemical composition of water either by increasing or decreasing the mineralization of the waters.

Lake Fetzara, whose very charged waters leads to the Seybouse and the aquifers through the Oued Meboudja, modifying the salinity of the waters.

-The sea also modifies the salinity of the waters. Pumping leads to an imbalance of the freshwater-saltwater interface, resulting in an increase in water salinity.

-Droughts lead to an increase in water salinity through evaporation.

The methods applied show that the salinity observed comes from several factors.

Keywords: Lake, Oued, costal aquifer, coastal lagoon, Salinity, Mediterranean Sea..

¹ Corresponding author: larbi.djabri@univ-annaba.dz

I. INTRODUCTION

Le présent travail, porte sur la mise en évidence des processus régissant la salinité des eaux, dans un domaine caractérisé par la présence de plusieurs facteurs pouvant influencer la minéralisation et la dégradation des eaux.

Parmi les facteurs engendrant la minéralisation des eaux, on a la mer qui par le biais des échanges avec les eaux souterraines ou de surface, il y a accroissement ou diminution de la minéralisation.

Parmi les facteurs polluant la qualité des eaux, on a les engrais et le retour des eaux d'irrigation, qui vont véhiculer les polluants d'un milieu vers un autre.

Notons que les formations géologiques sont à l'origine d'une paléo-pollution, contrairement aux facteurs climatiques dont les variations peuvent entraîner un accroissement ou une baisse de la minéralisation selon l'évaporation.

Par le biais de ce travail, nous allons essayer d'expliquer les mécanismes de régissant la salinité des eaux dans cette région [1].

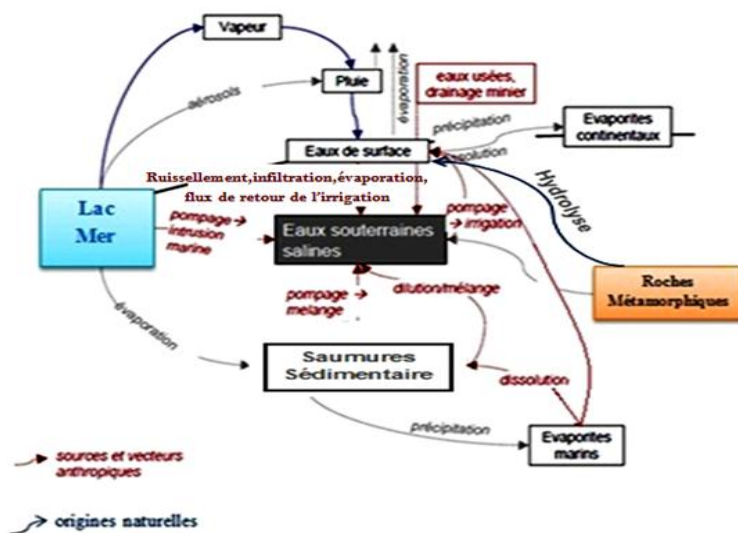


Fig.1 : Mécanismes naturels et anthropiques régissant la salinité des eaux dans la plaine d'Annaba (in Habes 2013).

La précédente figure, donne un aperçu sur les origines de la minéralisation des eaux dans la zone d'étude. On note une relation de cause à effet entre l'environnement et la minéralisation qu'on va essayer d'expliquer.

Le tableau suivant N° I, montre les paramètres à l'origine de la qualité des eaux.

Tableau. I : Paramètres influençant la qualité des eaux dans la zone d'étude

Paramètres anthropiques	Paramètres naturels
Pompage provoquant une intrusion marine	Les évaporites,
Les eaux usées	La pluie, l'évaporation
Le ruissellement et l'érosion	La géologie par le biais des échanges eau-roche
Le retour des eaux d'irrigation	L'hydrolyse

Les facteurs énumérés conduisent à la minéralisation des eaux soit directement ou indirectement. Le schéma (fig.1) et le tableau I, montrent de manière succincte les différentes relations existantes entre les différents facteurs, il met également en évidence le déplacement des éléments pouvant influencer la salinité des eaux. En surface le lac par le biais de l'Oued Meboudja se déverse dans l'oued Seybouse qui

alimente la nappe superficielle, cette dernière dans sa partie aval reçoit la mer. Il existe également une alimentation souterraine engendrée par l'infiltration, ce qui explique les concentrations remarquées dans les eaux des puits et des forages.

2. MATERIEL ET METHODES

Les prélèvements d'eau ont été réalisés selon un pas mensuel. Les paramètres physico-chimiques (pH, T°C, conductivité) sont mesurés in situ à l'aide d'un appareil multiparamètres de marque WTW (Multiline P3 PH/LF-SET) et une sonde lumineuse de type SEBA KLL pour la mesure du niveau piézométrique. L'analyse des éléments chimiques s'effectue par absorption atomique à flamme (PERKIN-ELMER 11005) pour les cations. Les anions et les éléments traces sont dosés par le spectrophotomètre photolab spectral de marque WTW. Pour un problème de commodité, chaque point a fait l'objet de deux prélèvements :

- le premier acidifié, avec HCl pur pour le dosage des cations,
- le second sans ajout (dosage des anions).

Les échantillons ont été transportés dans une glacière à 4°C, température de conservation.

3. CARACTERISTIQUES DE LA REGION D'ETUDE :

Situation géographique :

La région étudiée est située dans le Nord-est algérien (fig. 2). Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par Dzean, à l'Est par l'oued Mafragh et à l'ouest par le lac Fetzara. L'alimentation de la plaine se fait à l'Ouest par les eaux de ruissellement en provenance de l'Edough, au Sud par les apports qui se font de la partie amont.



Fig. 2 : Situation géographique de la zone étudiée

Indications géologiques et hydrogéologiques :

- Cadre géologique :

Les études réalisées dans la région montrent l'existence de deux types de terrains : métamorphique et sédimentaire (fig.3). Les affleurements géologiques sont datés du Paléozoïque au Quaternaire.

- Le Paléozoïque affleure à l'Ouest dans le massif de l'Edough, Belilieta et Boukhadra. Il est constitué surtout de gneiss.

-Le Mésozoïque affleure au Sud de la zone d'étude, constitué par :

- Le Trias, formé par une association de dolomies, de calcaires dolomitiques et de gypse.

- Le Jurassique constitué de dolomies noires et de schiste calcaireux.

- Le Crétacé comportant des calcaires dolomitiques à foraminifères.

- Le Cénozoïque représenté par l'Eocène inférieur, l'Oligocène et le Mio-Pliocène ; ce dernier est représenté par les faciès suivants :

- le faciès fluvial : bien développé dans la plaine de Annaba ; il est surtout formé de galets, de sable et d'argile le long des oueds,

- le faciès marin : caractérisé par des marnes bleues avec des intercalations calcaires.

- le faciès continental : il est lié aux dépôts des fosses d'effondrement qui sont :

* la fosse de Ben Ahmed, orientée S-N,

* la fosse de Ben M'Hidi, orientée SW-NE.

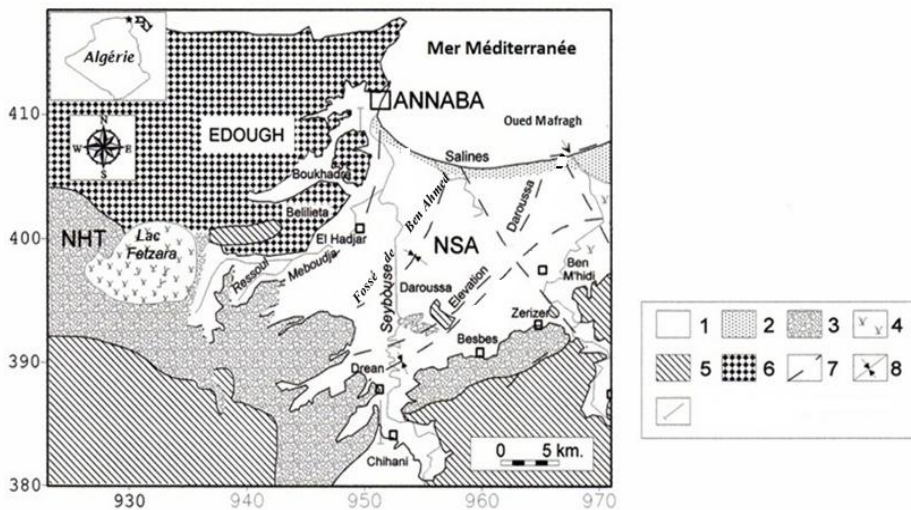
Ces deux fosses sont séparées par l'élévation de Daghoussa où haut-fond de Daghoussa.

* Le Quaternaire : Les formations dunaires alluvionnaires constituent la roche réservoir. On y distingue le:

- Quaternaire ancien (hautes terrasses): renfermant la nappe des alluvions dont le matériau est composé de sables, d'argiles, de graviers, ...

Quaternaire récent : correspond à la basse et à la moyenne terrasse.

-Quaternaire actuel : les alluvions sont représentées par des dépôts de lit actuel de l'oued ; il s'agit de sable et de cailloutis.



Légende: 1=Nappe des formations superficielles ;2=Nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja ;3=Nappe des sables du cordon dunaire ;4=Nappe des alluvions de haut niveau ;5=Grès et argiles du numidien ;6=formations métamorphiques (nappe des cipolins) ;7=Marécages ;8=Faillles ;9=Fosses ;10=Limite de la zone étudiée.

Fig. 3 : Cadre géologique de la zone étudiée [2]

Indications hydrogéologiques :

La disposition de ces formations a mis en évidence deux aquifères (fig.4) communiquant entre eux essentiellement par l'oued Meboudja ; il s'agit de :

- La nappe superficielle d'Annaba (NSA),
- La nappe d'accompagnement du lac (NAL).

Caractéristiques de la nappe d'accompagnement du lac Fetzara (fig.4) :

La carte élaborée, par krigeage porte sur 145 puits nivelés fait apparaître deux sens d'écoulement :

- le premier est orienté vers le lac et met en évidence une alimentation du lac par la nappe,
- le second est orienté vers l'oued Meboudja et met en évidence la relation lac-oued-nappe. Les eaux sortant du lac (très minéralisées) par le biais de l'oued Meboudja (canal de vidange du lac) vont alimenter la nappe, entraînant probablement une modification de la composition chimique des eaux.

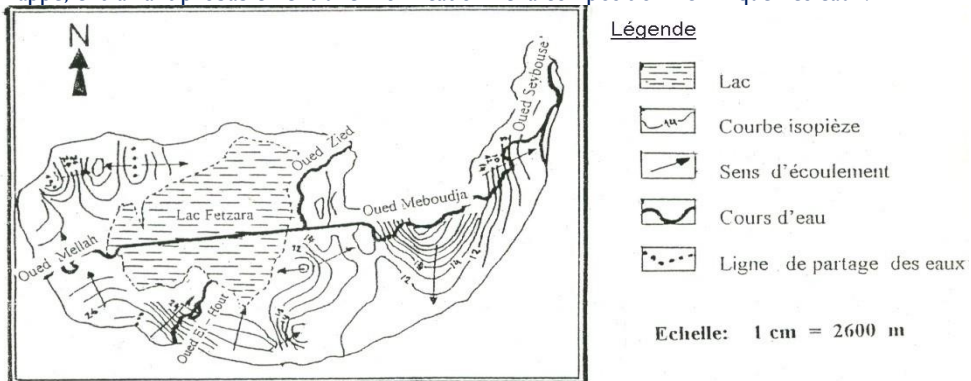


Fig. 4 : Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du lac Fetzara [3]

L'observation de la carte piézométrique montre l'existence d'une interconnexion entre les différents systèmes (lac, oued, nappe). A titre indicatif le débit global extrait est de l'ordre de $8.31 \text{E-1 m}^3.\text{s}^{-1}$. Le niveau d'eau dans la nappe superficielle a diminué de quelques mètres (3 m à 5m) et est tributaire de la recharge d'eau qui dépend des précipitations. Ces dernières ont connu une baisse très significative, entraînant une absence totale de la recharge au cours des dernières années (A. Benchaib 2021). Les deux facteurs énumérés engendrent une perturbation du système aquifère dans ces deux parties. Ce qui se traduit par un déséquilibre de l'interface eau douce-eau salée. Cet état génère une dégradation de la qualité des eaux (accroissement de la salinité des eaux). La chimie des eaux va nous renseigner sur l'état des nappes vis à vis des autres paramètres constituant le système aquifère.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les analyses chimiques effectuées, nous ont permis de mettre en évidence les relations de causes à effets qui semblent exister entre la mer et la nappe, le lac et la nappe, les oueds et la nappe, en nous appuyant sur les représentations et outils suivants seront développés :

- 'ACP ou analyses en composantes principales,
- apport du strontium,

Ces dernières portent sur les eaux superficielles et sur les eaux profondes. Par ailleurs, nous avons réalisé un ACP, pour chaque Oued, ce qui nous permettra de mettre en évidence les différentes compositions des eaux et aussi d'expliquer leurs origines. Pour l'interprétation, de l'ACP, nous nous contenterons de l'analyse de la matrice de corrélation et du cercle ACP, ces deux paramètres suffisent à mettre en évidence les différences dans les liens entre les éléments chimiques. Nous avons utilisé les mêmes analyses que celles utilisées pour l'élaboration du diagramme de Piper.

Apports de l'analyse en composantes principales :

L'analyse réalisée porte sur 306 échantillons et 8 variables. L'inertie totale obtenue est de 68.60%, fournissant ainsi un maximum d'informations.

Observation de la matrice de corrélation :

L'observation du tableau 2, indique des coefficients de corrélations positifs et d'autres négatifs, mettant en évidence des corrélations inverses.

-le nombre d'échantillons utilisé dans la matrice étant de 306, le coefficient de corrélation à prendre en considération est $r = 0.22$

Tableau 2 : Matrice de corrélation eaux superficielles.

	C.électrique	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
C. électrique	1							
Ca ²⁺	0.32	1						
Mg ²⁺	0.45	0.50	1					
Na ⁺	0.68	0.40	0.60	1				
K ⁺	-0.01	-0.22	-0.25	-0.07	1			
HCO ₃ ⁻	0.49	0.31	0.60	0.62	0.05	1		
Cl ⁻	0.71	0.41	0.71	0.84	-0.05	0.60	1	
SO ₄ ²⁻	0.50	0.54	0.52	0.53	0.17	0.44	0.45	1

La valeur du coefficient de corrélation, nous permet de dégager les associations récapitulées dans le tableau 3.

Tableau.3 : Corrélations déduites à partir de la matrice de corrélation

Eléments corrélés	Valeur de r	Eléments corrélés	Valeur de r	Eléments corrélés	Valeur de r
C électrique-Ca	0.32	Ca-K	-0.22	Na-HCO3	0.62
C électrique -Mg	0.45	Ca-HCO3	0.31	Na-Cl	0.84
C- électrique - Na	0.68	Ca-Cl	0.41	Na -SO4	0.53
C électrique-HCO3	0.49	Ca-SO4	0.54	HCO3-Cl	0.60
C électrique- Cl	0.71	Mg-Na	0.66	HCO3-SO4	0.44
C électrique -SO4	0.50	Mg-K	-0.25	Cl-SO4	0.45
Ca-Mg	0.50	Mg-HCO3	0.60		
Ca-Na	0.40	Mg-Cl	0.71		

C électrique = conductivité électrique

Dans leurs majorités les coefficients sont positifs, ce qui indique un lien direct entre les éléments. Cependant on note deux coefficients négatifs mettant en évidence une opposition entre les éléments considérés.

Observation du cercle ACP :

Le cercle ACP (fig.5), formé par les axes F1F2 fournissant (68.7%) de l'information, montre selon l'axe F1 (53.64%) horizontal, une opposition entre les eaux fortement minéralisées, constituant la partie négative de l'axe et les eaux faiblement minéralisées riches en potassium, occupant la partie négative de l'axe.

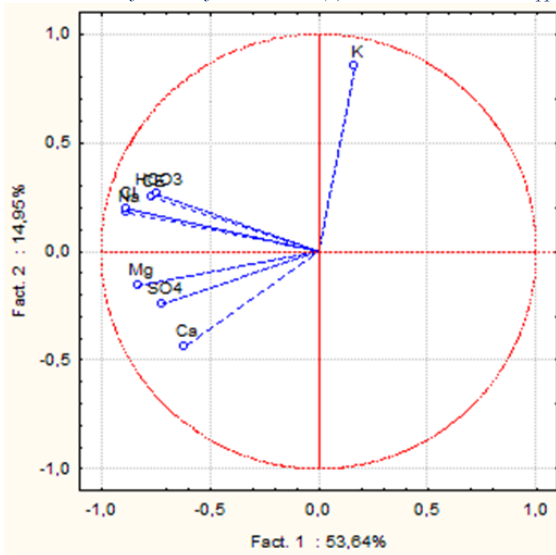


Fig.5 : Cercle ACP, eaux superficielles. [I & I']

Selon l'axe F2 (14.95%), on note une compétition entre les eaux sulfatées et les eaux bicarbonatées ou chlorurées. Notons que ces dernières sont riches en potassium. Cette compétition montre que les eaux s'écoulant vers le lac proviennent de divers horizons. En effet, les eaux occupant la partie positive de l'axe sont issues de la zone Ouest (Massif de l'Edough et Kherraza). Les eaux arrivant au lac traversent les formations métamorphiques et les sables. L'interaction eau-roche provoque une dissolution entraînant un enrichissement en chlorures, bicarbonates et potassium, par contre les eaux occupant la partie négative proviendraient des eaux charriées par l'Oued El Hout, drainant la plaine de Cheurfa, elle-même alimentée par les monts d'Ain Berda, dont les eaux sont riches en sulfates.

-Qualité des eaux à leur sortie du lac : comme pour l'entrée des eaux au lac, pour leur sortie nous avons réalisé un ACP, ce qui nous a permis de faire une comparaison de la composition chimique des eaux.

ACP des eaux de l'Oued Meboudja :

Le traitement réalisé, porte sur 109 échantillons et 8 variables.

Matrice de corrélation : l'observation du tableau suivant, montre deux types de corrélations :

-la première directe, $r > 0$, donc directe,

-la seconde indirecte $r < 0$, donc inverse.

Tableau.4 : Matrice de corrélation Oued Meboudja

	Ce	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Ce	1							
Ca	0.11	1						
Mg	0.43	0.63	1					
Na	0.66	0.32	0.70	1				
K	-0.14	-0.04	-0.16	-0.08	1			
HCO3	0.60	0.41	0.75	0.88	-0.08	1		
Cl	0.62	0.24	0.72	0.88	-0.07	0.87	1	
SO4	0.17	0.57	0.46	0.39	0.03	0.42	0.20	1

L'observation du précédent tableau met en évidence deux types de corrélation :

-la première directe, $r > 0$, donc directe,

-la seconde indirecte $r < 0$, donc inverse.

Le nombre des échantillons utilisés est de 109, le coefficient de corrélation sera $r = 0.36$ se qui nous permet de dégager les associations suivantes :

Tableau : 5 : récapitulation des corrélations

Djabri Larbi et al., /IJWSET-JISTEE, Vol. (x), Issue 4, December 2025, pp.69-79

Eléments corrélés	Valeur de r	Eléments corrélés	Valeur de r	Eléments corrélés	Valeur de r	Eléments corrélés	Valeur de r
Ce-Mg	0.43	Ca-Mg	0.63	Mg-HCO3	0.75	Na-Cl	0.88
Ce-Na	0.66	Ca-HOC3	0.41	Mg-Cl	0.72	Na-SO4	0.9
Ce-HCO3	0.60	Ca-SO4	0.57	Mg-SO4	0.46	HCO3-Cl	0.87
Ce-Cl	0.62	Mg-Na	0.70	Na-HCO3	0.88	HCO3-SO4	0.42

Nous remarquons que les corrélations inverses sont insuffisantes

Analyse du cercle ACP :

L'observation du cercle ACP (fig.6), formé par les axes FIF2 (71.28%) de l'information totale, montre selon l'axe FI (54.26 %) horizontal, une opposition entre les eaux fortement minéralisées (partie négative de l'axe) et les faiblement minéralisées, riches en potassium, occupant la partie positive de l'axe. Selon l'axe F2 (17.02%) vertical, on note une compétition entre les eaux chlorurées et bicarbonatées sodiques aux eaux sulfatées calciques à magnésiennes riches en potassium.

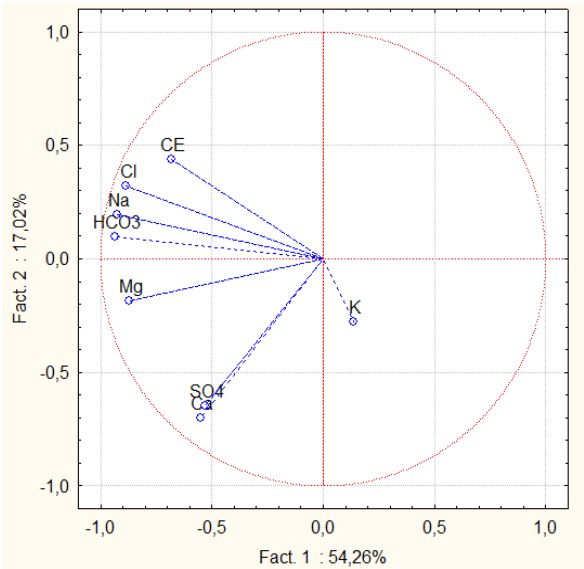


Fig.6 : Cercle ACP, caractérisant les eaux de l'Oued Meboudja.[4]

A leur sortie des eaux du lac (Oued Meboudja), les eaux deviennent chlorurées sodiques, indiquant une salinité importante liée aux inters actions se produisant entre les eaux et la matrice du lac.

Pour expliquer les origines de la nouvelle composition à l'origine de l'accroissement de la salinité des eaux par , nous avons utilisé la méthode des rapports caractéristiques tel que Sr^{2+}/Ca^{2+} et Br/Cl .

Arguments de mise en évidence des origines de la salinité des eaux :

La composition chimique des eaux de la région reste tributaire de plusieurs facteurs, afin d'identifier les facteurs à l'origine de la salinité des eaux, nous avons dosé le strontium. Les résultats obtenus montrent des valeurs oscillant 0.004 meq/l et 0.7 meq/l.

Calcul du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} :

Ce rapport permet d'identification des origines de la salinité des eaux. Les calculs réalisés montrent que la valeur du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} , oscillent entre 0,6 ‰ et 9,2 ‰ ce qui démontre différentes origines de la salinité. Ainsi des chercheurs dont Pulido Leboeuf.2003, Hsissou 1997, Djabri L & als 2009, Benchaib A & als, 2018, ont démontré dans leurs travaux l'existence d'une relation de cause à effet entre les formations évaporitiques et la salinité des eaux. Les analyses effectuées ont porté sur le dosage du strontium, cet élément est utilisé pour la caractérisation de la salinité des eaux dont l'origine est liée aux formations géologiques. Le calcul du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} , pour les eaux de la région, nous a permis

d'élaborer la carte de répartition du rapport $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ (Fig.7). L'examen de celle-ci montre la présence de trois familles d'eau :

- Une première(A), caractérisée par un rapport $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ faible, ne dépassant pas 1‰, est localisée uniquement au niveau de l'oued Meboudja ; celui-ci sert de canal de vidange du lac Fetzara. Donc, les eaux constituant ce groupe proviendraient du lac.

- La seconde (B), dont le rapport $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ oscille entre 1 et 3‰, se localise au centre de la plaine de Annaba. Dans cette zone, la salinité peut avoir plusieurs origines :

- * marine,
- * mélange des eaux des oueds Meboudja et Seybous,
- * dissolution des formations évaporitiques situées en amont.

- La troisième (C) grande famille $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+} > 3\text{‰}$ se localise en amont de Dréan. La valeur du rapport confirme l'incidence des formations évaporitiques sur la salinité des eaux. Cette salinité peut également avoir une origine anthropique due aux rejets domestiques nombreux dans la région.

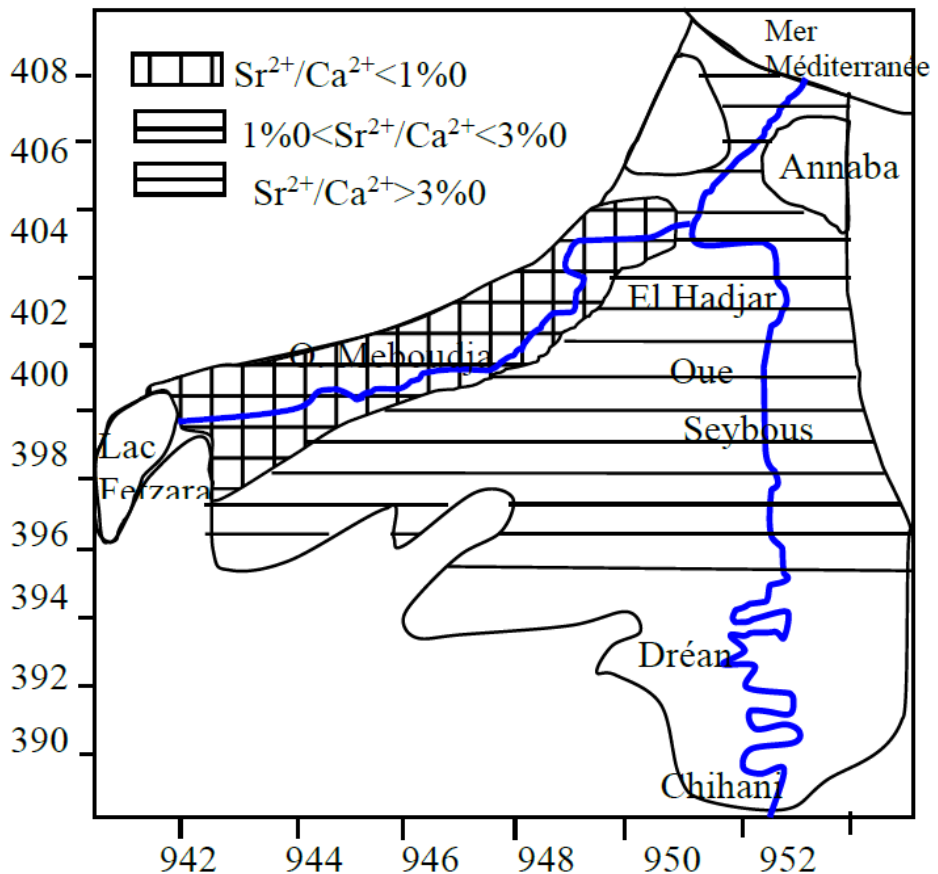


Fig. 7: Carte de répartition du rapport $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ [5]

Confirmation par le Rapport Br/Cl

La présence de la mer, favorise les échanges avec les eaux de la nappe lors des pompages (intrusion marine), ce qui peut entraîner un accroissement de la salinité des eaux de la nappe. L'utilisation du rapport Br/Cl , selon certaines valeurs indique une origine de la salinité.

Les valeurs calculées, du rapport Br/Cl , oscillent entre 0.0009 et 3.5 ‰, mettant différentes origines de la salinité, ainsi nous distinguons :

- la valeur du rapport $Br/Cl \geq 3 \text{ ‰}$, dans ce cas la mer impacte la salinité des eaux,
- le reste des échantillons, dans ce cas la salinité observée peut avoir plusieurs origines :
- les échantillons prélevés à proximité de la mer, montre une salinité des eaux liée aux embruns marins ou à l'utilisation des aérosols,

Les échantillons prélevés loin du littoral indiquent une salinité produite par les apports issus des régions situées en amont de la plaine.

Le graphique réalisé (Br/Cl VS Cl) (fig.8), montre quatre (04) différentes et se répartissant comme suit :

- une première famille dont le rapport (Br/Cl VS Cl) $> 1.5 \text{ ‰}$, constituée de huit (08) échantillons, indiquant une salinité liée à la mer,
- la seconde famille dont le rapport Br/Cl , oscille entre 1.3 et 1.5 ‰ , contenant trois (03) échantillons, dans cas la salinité des eaux est liée soit à l'influence marine soit aux aérosols utilisés par les agriculteurs,
- la troisième famille contenant sept (07) échantillons. Le rapport Br/Cl , varie 1.0 et 1.3 ‰ , pour cette famille la salinité est liée aux facteurs anthropiques ou géologiques,
- la quatrième famille contenant cinq (05), dont la salinité est probablement liée à la dilution des formations géologiques.

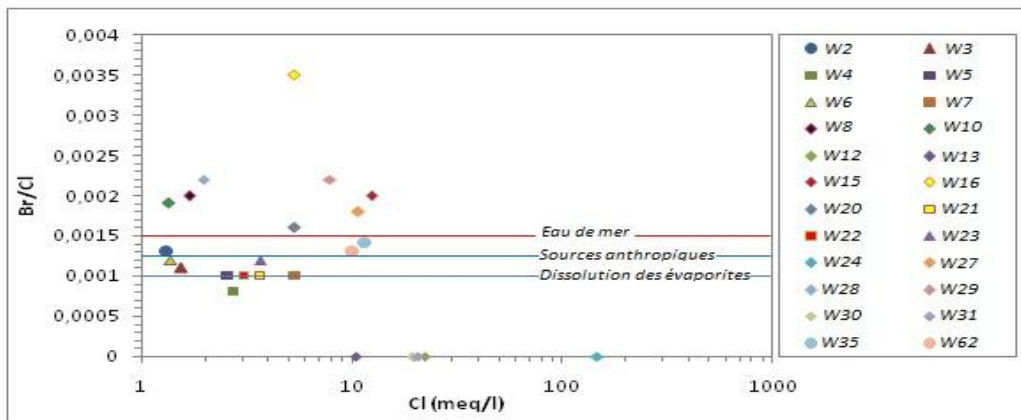


Fig.8 : Relation entre le rapport (Br/Cl) et Cl (in Benchaib, 2021). [6]

La précédente figure montre une salinité dont les origines diffèrent selon la zone de prélèvement. Plus on s'approche de la zone littorale l'influence marine reste quasi-certaine mais au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la mer la salinité est induite par les facteurs anthropiques ou par la dissolution des roches.

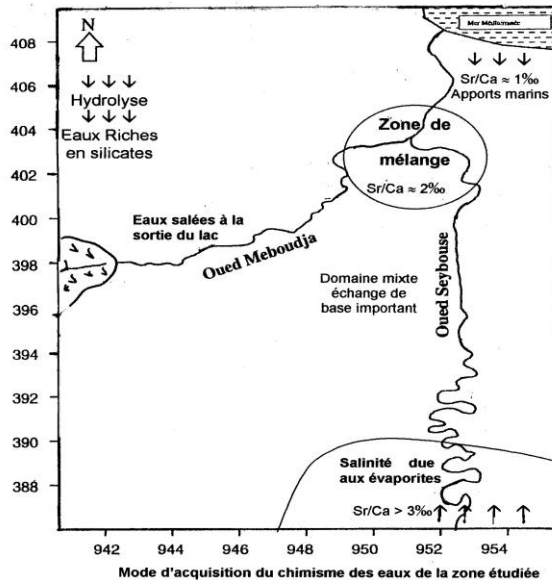
Conclusion

L'étude réalisée se rapporte à une zone côtière où la géologie, le climat et l'environnement (présence d'un lac et d'une mer), influencent la salinité soit de manière directe ou indirecte.

La sécheresse qu'avait connue la région d'étude au cours de la dernière décennie a entraîné une baisse de la recharge et une augmentation de l'évapotranspiration, ce qui a eu pour effet une augmentation de la salinité.

La figure 9, suivante récapitule les origines de la minéralisation des eaux au niveau de la plaine d'Annaba. On nos trois zones dont la minéralisation se répartissant comme suit :

- au niveau du littoral, le rapport $Sr^{2+}/Ca^{2+} \approx 1 \text{ ‰}$, ce qui indique que la salinité n'est pas d'origine géologique,
- au niveau de la confluence des Oueds Meboudja et Seybouse le rapport $Sr^{2+}/Ca^{2+} \approx 2 \text{ ‰}$, indiquant diverses origines de la salinité d'où l'appellation zone mixte, car l'origine de la salinité n'est pas franchement connue,



- la troisième famille, caractérise la partie aval, le rapport $Sr^{2+}/Ca^{2+} > 3 \text{ ‰}$, indiquant une origine géologique de la salinité induite par les apports se faisant à partir de la zone amont

Fig.9 : Mode d'acquisition la minéralisation des eaux dans la zone étudiée. [7, 7', 7'']

Le strontium confirme donc l'alimentation de la nappe par les formations évaporitiques situées en amont.

Bibliographie :

- [1] Habes Sameh (2013) : *Caractéristiques chimiques d'un lac appartenant aux écosystèmes humides du Nord de l'Algérie : Cas du Lac Fetzara Nord - Est Algérien*. Thèse de doctorat de l'université Badji Mokhtar Annaba, 230p
- [1'] Bouhali. Z, Djabri L, Bouguerra H, Trabelsi F, Hani A, & Chaffai H. (2022). Use of artificial neural networks for modeling inflow, outflow, and salinity of Lake Fetzara in the Annaba region (N.E. Algeria). *Journal of Food Industry and Agriculture*, 107-115. Available at: www.fia.usv.ro/fiajournal
- [2] Debiche T.H. (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien. Th. Doct. Univ. de Franche-Comté, 199 p.
- [3] Zenati N (2010) : *Pollution de l'environnement aquatique: diagnostic et proposition «Région de Annaba»*. Thèse de doctorat de l'université Badji Mokhtar Annaba. 220p
- [4] Djabri L. (1996). Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques industrielles, agricoles et urbaines. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, 261 p.
- [2] Djabri L., Hani A., Mania J. & Mudry J. : (2001), Mise en évidence du processus de salinité des eaux superficielles - Vérification par les ACP dans le secteur Annaba- Boucheouf-Guelma. *Tribune de l'Eau - Vol. 54 - N°610* - pp. 29-43. *Tribune de l'eau* (Belgique),
- [5] Djabri L., Hani A., Mania J., Mudry J. (2000). Conséquences des pratiques agricoles sur la qualité des eaux du bassin de la Seybouse (Est algérien). *Actes du colloque ESRA'2000, Poitiers, S3*, pp.39-42.
- [6] BENCHALIB Abdelwahid (2021): *Utilisation d'une approche multicritère pour l'analyse de l'eau dans le golf d'Annaba*. Thèse de doctorat de l'université Badji Mokhtar Annaba. 168 P
- [7''] Djamaï, R., Fadel, D., Laïfa, A., Benslama, M., Daoud, Y., & Vallès, V. (2011). The concept of residual alkalinity and the geochemical evolution of processes: Application to saline soils of Lake Fetzara (Northeastern Algeria). *Synthesis Review of Science and Technology*, 23: 90–98
- [7] Zahi F., Djamaï R., Drouiche A. & Medjani F. (2011). Contribution to study of soilsalinity in the region of Fetzara Lake (Northeast of Algeria). *Journal of Materials and Environmental Science*. Vol. 2 (S1), pp 439-444.
- [7'] Zahi F., Djamaï R., Chaab S., Djabri L., Drouiche A & Medjani F. (2012). Dynamique de la nappe et qualités physico-chimiques des eaux souterraines du lac Fetzara (Nord-Est algérien). *Revue des Sciences et de la Technologie*. Synthèse N°26, pp 86-95

Contribution to the study of the influences of the jet stream on intense rainfall in Tunisia: case studies

Dalel Makhloufi¹, and Taoufik El Melki

¹ Faculty of Arts, Arts and Humanities - University of La Manouba, 2010 La Manouba, Tunis. Geosystems Geomatics Laboratory: UR 11ES41

Abstract

The "Medicanes" present a particular type of atmospheric circulation in the Mediterranean area. Not conform to the bases of the specific atmospheric circulation to the temperate latitudes, the "Medicanes" relate to a barotropic atmospheric circulation dynamics as like as the tropical cyclones. These particular atmospheric phenomena are not exceptional only by their dynamics, but also by the heavy rainfall they determine. The "Medicane" genesis requires, among other aerological circumstances, the presence of an "ordinary" Mediterranean cyclone and a "Jet Stream" in the upper layers of the troposphere. The effect of this current, well known in the appropriate literature, activates the system convection and vorticity and initiates the barotropic atmospheric dynamics determining most of the rainfall deluges in the Mediterranean area. The "Jet Stream" current is able not only to act on an already unstable atmospheric situation (beforehand presence of an "ordinary" Mediterranean cyclone); but also, it seems to be able to provoke very strong stormy instabilities even under very strong anticyclonic atmospheric situations. The heavy rainfall events of the 04/10/1996 and the 29/09/2016 in Tunisia illustrate well the role of this current in the intense heavy rainfall genesis in Tunisia. -

Keywords: Jet Stream, rainfall genesis, heavy rainfall, Sousse and Kelibia, Tunisia

Contribution à l'étude des influences du courant-jet sur les fortes précipitations en Tunisie : études de cas.

Résumé

Les « Médicanes » présentent un type particulier de circulation atmosphérique en Méditerranée. Ne correspondant pas aux bases de la circulation atmosphérique spécifique des latitudes tempérées, les « Médicanes » sont liées à une dynamique de circulation atmosphérique barotrope, à l'instar des cyclones tropicaux. Ces phénomènes atmosphériques particuliers sont exceptionnels non seulement par leur dynamique, mais aussi par les fortes précipitations qu'ils engendrent. La genèse des « Médicanes » requiert, entre autres conditions aérologiques, la présence d'un cyclone méditerranéen « ordinaire » et d'un courant-jet dans les hautes couches de la troposphère. L'effet de ce courant, bien documenté, active la convection et la vorticité du système et initie la dynamique atmosphérique barotrope à l'origine de la plupart des épisodes de fortes pluies en Méditerranée. Le courant-jet est capable non seulement d'agir sur une situation atmosphérique déjà instable (présence préalable d'un cyclone méditerranéen « ordinaire »), mais aussi de provoquer de très fortes instabilités orageuses, même dans des conditions anticycloniques très marquées. Les épisodes de fortes pluies du 4 octobre 1996 et du 29 septembre 2016 en Tunisie illustrent bien le rôle de ce courant dans la genèse des pluies intenses en Tunisie..

Mots clés : Lac, Oued, aquifère Côtier, lagune littorale, salinité, Mer Méditerranée.

¹ Corresponding author: Makhloufida@hotmail.com

INTRODUCTION

Weather and climate modelling and satellite remote sensing have seen significant advances in recent decades. Continuous improvements in space-based atmospheric observation capabilities and the rise of investigative techniques have led to a much better understanding of atmospheric phenomena at different spatial and temporal scales. In-depth observations and analyses of atmospheric phenomena that were previously little known have become possible. Exceptional atmospheric circulations, such as "Medicanes" (Businger and al., 1998; El Melki, 2014 and 2015), are now well known, analysed and modelled (Cavicchia and al., 2012 & 2014; Akhtar and al., 2014; Picornell and al., 2014; Chen and al., 2012; Feser and al., 2008). Medicanes are a clear example of atmospheric phenomena that could only be observed using satellite technology. They are caused by a particular type of atmospheric circulation, similar to that of tropical cyclones, which is absent from the atmospheric circulation specific to temperate latitudes. These particular phenomena are exceptional both in terms of the properties of the atmospheric circulation that initiates them and the torrential rainfall they cause. However, unlike the showers induced by frontal systems (with temperate dynamics), which can be widespread across the whole country or at least a large part of it, these events have a limited or even localised spatial scope. The transformation of an "ordinary" Mediterranean cyclone (with baroclinic dynamics) into a "Medicane" requires, among other aerological circumstances, the presence of a "jet stream" in the upper layers of the troposphere. It is well established in the relevant literature that the jet stream activates convection and vorticity in the system and initiates barotropic atmospheric dynamics (Fig. 1), which are responsible for most of the heavy rainfall in the Mediterranean region.

The jet stream is not only capable of acting on an already unstable atmospheric situation (prior presence of an "ordinary" Mediterranean cyclone), but also, under certain aerological circumstances, appears to be capable of causing very strong storm instabilities within very clearly anticyclonic atmospheric situations.

The study presented here examines two events: one on 4/10/1996 and the other on 29/09/2016 in Tunisia. The first event was characterised by the highest 24-hour rainfall ever recorded in the city of Kelibia since January 1968, and the second by rainfall rarely recorded in the Sahel region of Sousse. The aerological circumstances of these two extreme rainfall events clearly illustrate the role of this upper-level current in intense rainfall in Tunisia.

I. Data and methodology

I.1. Data

Various types of data were used to conduct this study, including :

Precipitation data and climate measurements

- ✓ Daily rainfall data provided by the INM, enabling the intensity and spatial distribution of precipitation to be assessed during the episodes of 4 October 1996 and 29 September 2016.
- ✓ Meteorological parameters, such as minimum and maximum temperatures, relative humidity, evaporation, wind direction and strength, for 4 October 1996 and 29 September 2016.

Satellite data

- ✓ NOAA-AVHRR satellite images, thermal infrared: (11.5-12.5µm) channel 5, on 16/1/1995 at 09 :06 and on 04/10/1996 at 17 :26, used to analyse the fine structure of cloud systems.
- ✓ Meteosat satellite images, infrared and visible, on 28 and 29/09/2016, providing continuous monitoring of cloud mass evolution at high temporal frequency.

Aerological data (radiosondes)

- ✓ Atmospheric radiosondes (Trapani and Tunis-Carthage) on 4 October 1996 at 12 :00 UTC and on 28 September 2016 at 00 :00, providing the vertical profiles needed to assess the nature of the air masses and the conditions of instability.

Barometric and geopotential data

- ✓ Maps of surface and altitude barometric fields at 500 hPa for 04/10/1996 and 29/09/2016
- ✓ Jet stream maps (300 hPa level), essential for understanding the role of this high-altitude current in the dynamics of convective systems.

I.2. Methodology:

The methodology adopted in this study is based on a multi-scale synoptic analysis using several types of data simultaneously. The combined use of this information made it possible to examine the structure of cloud systems, characterise atmospheric centres of action and identify the dynamic mechanisms that led to the

instabilities observed. The aerological analysis was based on available radiosondes (Trapani and Tunis-Carthage) in order to assess the vertical structure of the atmosphere, instability indices (IA, ICS, CAPE) and characteristic levels (LFC, CCL, EL). All of these sources were cross-referenced to compare the temporal evolution of atmospheric fields with recorded precipitation, thus highlighting the interactions between upper-level circulation, synoptic dynamics and convective processes responsible for the extreme rainfall events studied.

2. RESULTS

2.1. Heavy rain event in kelibia: case of 04/10/1996.

On 4 October 1996, the small town of Kelibia, located at the north-eastern tip of the Cap Bon peninsula and Tunisia (36.85°N and 11.08°E), received 179.8 mm of rain in 24 hours. This is the highest rainfall recorded at this station since 1/1/1968. This intense rainfall event was caused by a "Medicane".

2.1.1. Brief overview of "Medicanes"

Medicanes, like tropical cyclones, are a striking example of the interactions between the hydrosphere and atmosphere in the Mediterranean. Under certain conditions, an "ordinary" Mediterranean cyclone (atmospheric depression) can turn into a Medicane when the following conditions are met (Cavicchia and al., 2014; El Melki, 2015):

- ✓ Presence of an "ordinary" cyclone over the Mediterranean
- ✓ A strong vertical thermal gradient (difference) between the sea surface temperature and the average troposphere temperature: at 350 hPa
- ✓ A weak vertical wind shear (sudden change in direction and/or speed) (less than 4 ms for speeds)
- ✓ High relative humidity in the atmosphere
- ✓ Very high vorticity/helicity (rotational movement linked to the Coriolis force) of the air column, particularly at 850 hPa.

The first three conditions described above often characterise all "ordinary" Mediterranean cyclones; however, not all of them turn into Medicanes. The "strong vorticity", the last factor listed, is the decisive factor in this evolution. It is defined (Cavicchia and al., 2014) as :

- ✓ An average surface wind speed within a circle with a radius of 50 km around the minimum pressure greater than 18 m/s for more than 10% of the trajectory or more than 6 hours.
- ✓ The average wind speed (within a circle with a radius of 50 km around the minimum pressure) at 850 hPa is greater than the wind speed at 300 hPa.
- ✓ A maximum wind speed within a circle with a radius of 50 km around the minimum pressure greater than 29 m/s for a period of > 4 hours.

Modelling work on "Medicanes" (Chaboureaud and al., 2012; Akhtar and al., 2014) with the aim of improving numerical forecasting of these phenomena has shown that only the passage of an "ordinary" Mediterranean cyclone under a "jet stream" can achieve such vorticity. The latter causes the "explosive deepening" (pressure decrease of more than 18 hPa/day) of the "ordinary" cyclone, the establishment of a barotropic dynamic (Fig. 1) and its transformation into a "Medicane".

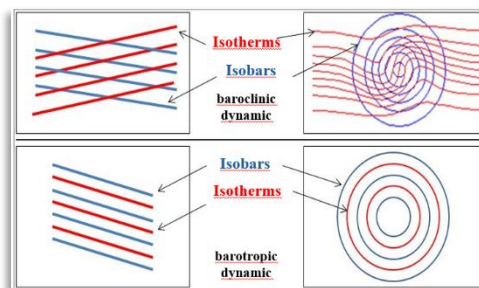


Figure 1. Schematic representation (plan view) of isobars and isotherms in a baroclinic atmosphere and in a barotropic atmosphere.

As we do not have the means to verify the accuracy of all the genetic criteria mentioned above, this study will be limited to the morphological criteria observable on satellite images and the information provided by available radiosondes.

The example of 16/1/1995 (Fig. 2) in the central Mediterranean is the best example ever observed to date, illustrating the perfect morphology of a "Medicane". It consists of a compact cloud disc tightly wrapped around a cloud-free eye with spiral clouds all around it, reminiscent of the typical structure of tropical cyclones (Emanuel, 2005; Chaboureau and al., 2012; Romero and al., 2013; etc.).

It should be noted, however, that not all phenomena known to be "Medicanes" do not all have such perfect morphology. Collections of satellite images of approved "Medicanes" are currently available on the web and allow us to see a variety of them from this point of view.

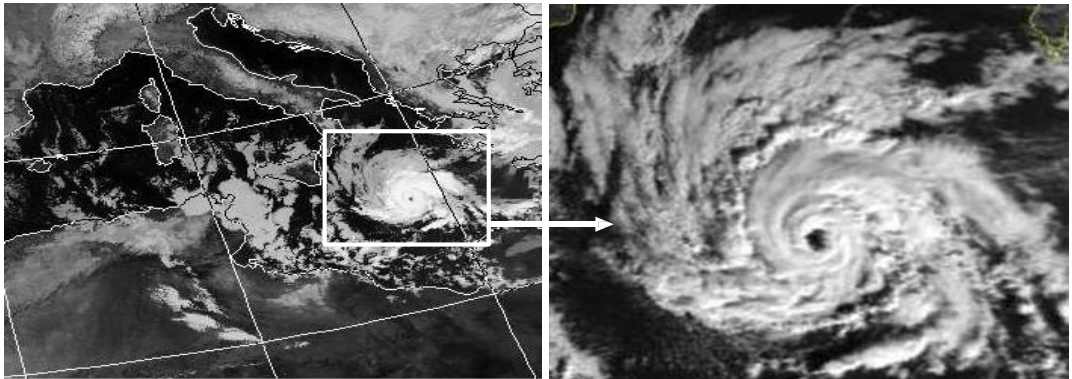


Figure -2. Cloud system over the central Mediterranean. NOAA-AVHRR satellite image taken on 16/1/1995 at 09 :06 Am, channel 5 (thermal infrared : 11.5-12.5µm). The eye of the Medicane is located approximately halfway between Malta and Crete.

2.1.2. Presentation of the Medicane of 4/ 10/ 1996.

The surface barometric field on 4/10/1996 (Fig. 3) is characterised by a barometric ridge connecting two very large anticyclonic areas composed of two elements: a very extensive and powerful Atlantic anticyclone (1040 hPa) centred off the coast of Western Europe and an Eastern European anticyclonic complex, the westernmost element of which is centred on Eastern Europe and the Black Sea. On the southern flank of this barometric ridge/dorsal, in the western Mediterranean, lies a well-developed, fairly deep Mediterranean depression (less than 1010 hPa) centred on Sicily.

This system maintains a rotating flow of Mediterranean origin, i.e. maritime, over the surface of Tunisia. The Mediterranean depression imposes a return circulation responsible for its warming (convective and unstable state of the air mass in place) and humidification.

At altitude (Fig. 3), a depression (probably a cold drop) overlaps perfectly with the surface depression. It activates convection from the lower layers of the atmosphere. An active branch of the subtropical jet stream is located south of Tunisia (Fig. 4). It perfectly frames the surface and high-altitude depressions. It is well known that this current reinforces vertical instabilities on its northern flank (El Melki, 2007, 2014).

The tubular and almost perfectly circular shape of the areas of heavy precipitation (Niederschlag in German) and strong convection (Konvektion, idem) framing the western half of Sicily (Fig. 5) and affecting the tip of Cap Bon on 4/10/1996 confirms the presence of this type of barotropic atmospheric circulation induced by the "Medicane". This explains the deluge that fell on Kelibia that day, as well as the remarkably low rainfall totals in the rest of the country (Tab. I).

Dalel Makhloufi and Taoufik El Melki/ IJWSET -JISTEE, Vol. (x), Issue 4, December 2025, pp.80-94

The central part of a "Medicane", just like a tropical cyclone of perfect appearance, has an area of subsidence and therefore low cloud cover, giving rise to the cloud-free eye of the system. The central part of the Medicane of 4/10/1996 (Fig. 6) also has this property and receives less precipitation (Fig. 5).

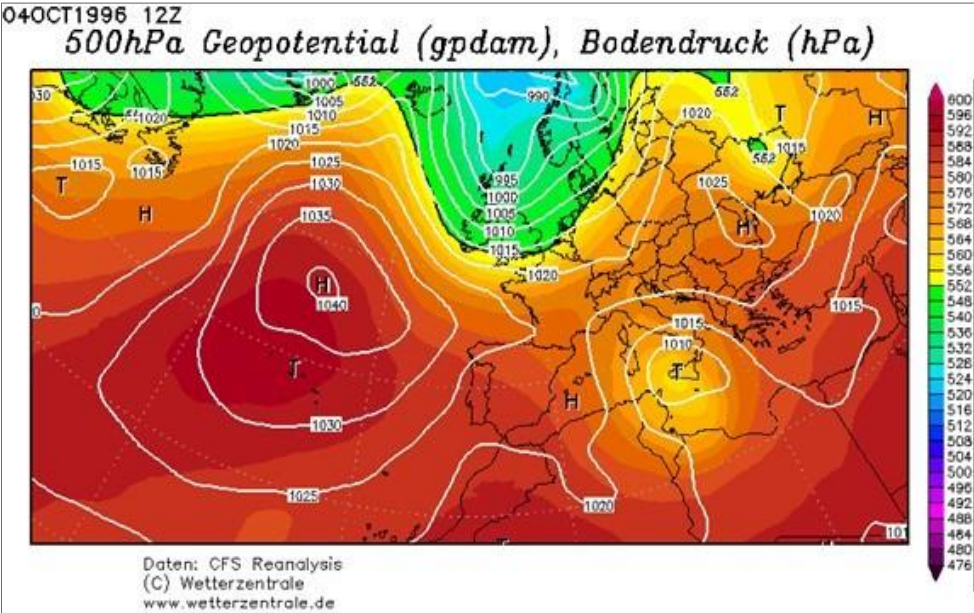


Figure 3. Surface and altitude barometric fields 04/10/1996 at 12:00 p.m.

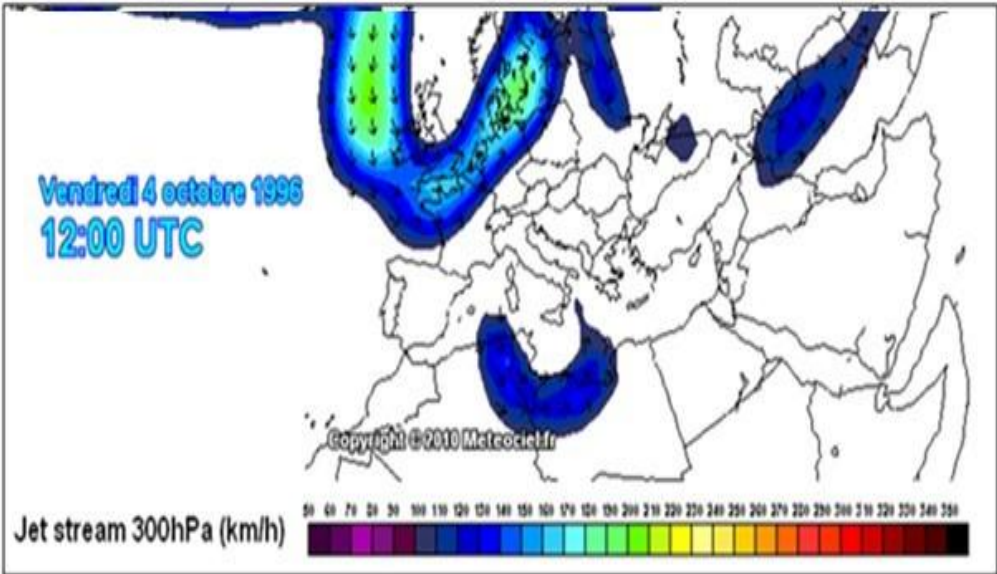


Figure 4. « Jet Stream » du 04/10/1996 at 12:00 p.m.

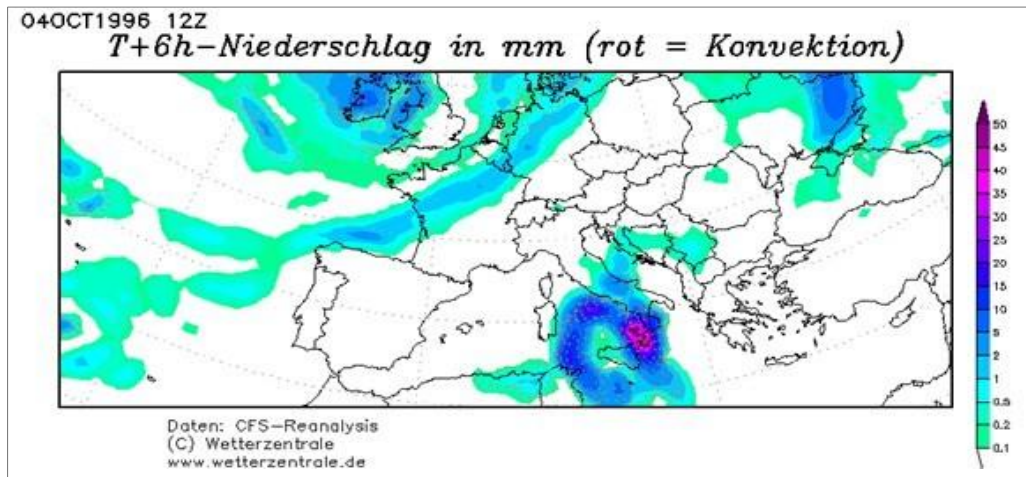


Figure 5. Areas of heavy precipitation 04/10/1996

The NOAA-AVHRR image from 04/10/1996 at 17:26 (Fig. 6) in thermal infrared (11.5-12.5 μ m) shows a well-developed cloud system over the Strait of Sicily and southern Italy. It is clearly disconnected from other cloud formations further north. The central part of this system (between Tunisia and Sicily) is very compact. The spiral shape and anticlockwise rotation of the system are clearly visible. The white clouds correspond to the part where convection is most active (strong vertical instability) and where cumuliform clouds (cumulonimbus, in particular) are thickest and have the highest and coldest tops (ice crystals). The Kelibia region is fully within this area. The grey clouds correspond to clouds with lower tops.

No radiosonde data from Tunis-Carthage is available for this date. The radiosonde data (Fig. 7) from Trapani (37°90' N and 12°50' E) in Sicily, the weather station closest to Kelibia, shows a humid and very unstable aerological structure of the "Ccm" (convective: warms at the base = unstable, convergent: cyclonic evolution, maritime: humid):

- ✓ Relative humidity varies between 79% at the station (altitude 14 mgep [geopotential metre] and 1005 hPa) and 83% at 700 hPa 2995 mgep).
- ✓ There are multiple indicators of strong vertical instability:
 - Presence of a highly convective layer tangent to the ground: air temperature curve (Θ) sloping steeply from the bottom right to the top left: this indicates an air mass warming at the base. The top of this layer is at 721 mgp (925 hPa) and its thickness is 707 mgp (the altitude of the station being 14 m). This layer is very unstable: Absolute Instability (AI).
 - The LFC (Level of Free Convection) is very low (481 mgp) and lies to the right of the air temperature curve (Θ). It originates from the convective layer (AI) indicated above. In this position, it indicates the presence of a low-altitude cloud ceiling (cloud base).

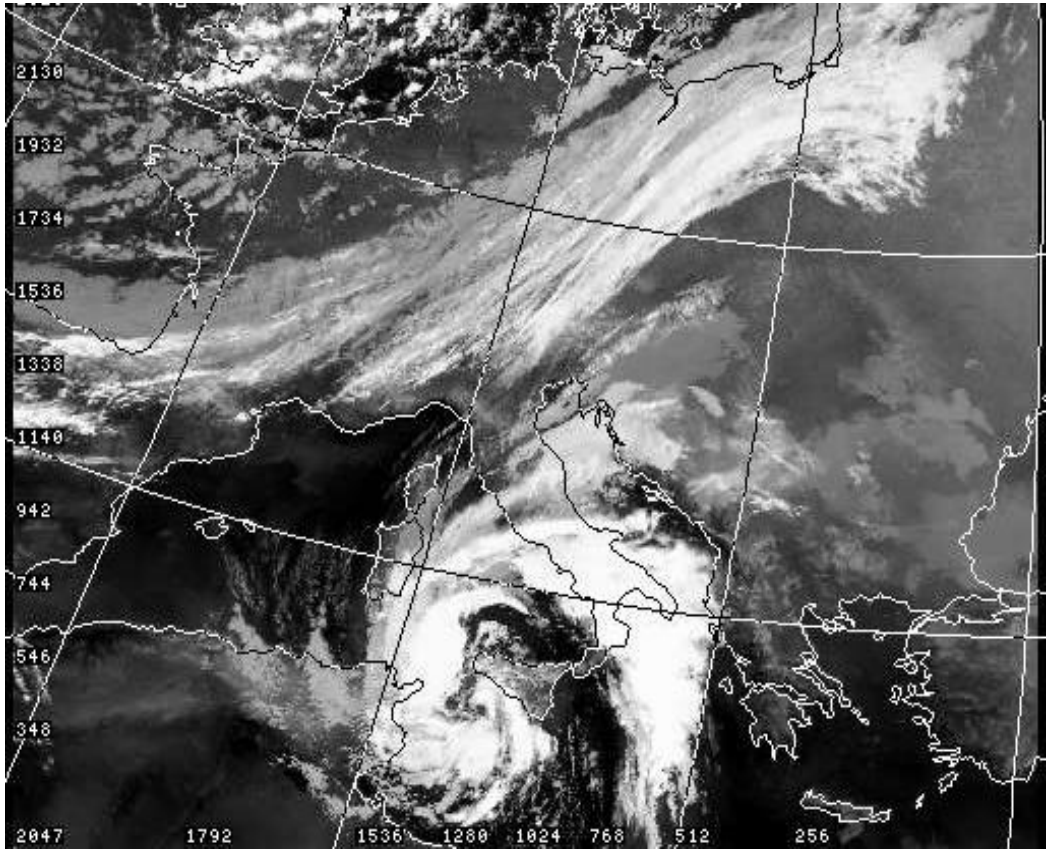


Figure -6. Cloud system over the central Mediterranean. NOAA-AVHRR satellite image from 04/10/1996 at 17:26. Channel 5 (Thermal infrared: 11.5-12.5 μ m).

- Air particles carried by convection from the LFC level can continue their ascent to the LFC-EL (Equilibrium Level) level: this corresponds to the altitude at which the temperature of the particles in convection (which are warmer than the surrounding air) is equal to that of the surrounding air. Convection ends. This is the maximum altitude that can be reached by cloud tops: 8581 m, resulting in cloud formation with a thickness of 8100 m.
- The LFC and lfc-EL levels represent the limits of the layer affected by CAPE (Convective Available Potential Energy). Graphically (Fig. 4), CAPE is proportional to the area (coloured dark red and pink on diagram 761) between the air temperature curve (Θ) and the curve of the "Lift Parcel" (ascending/convective particle) joining the LFC and lfc-EL levels. CAPE corresponds to the latent energy of evaporation (stored in water vapour) and released into the ambient air following the condensation of water vapour due to the cooling effect of rising air particles. It is this energy that allows air particles from the absolute instability (AI) layer tangent to the ground to continue their ascent even in the stable upper layers (ICL: Latent Convective Instability, and SA: Absolute Stability) of the troposphere. In this case, the CAPE is quite significant: 1242 J/kg (joules / kilogram).

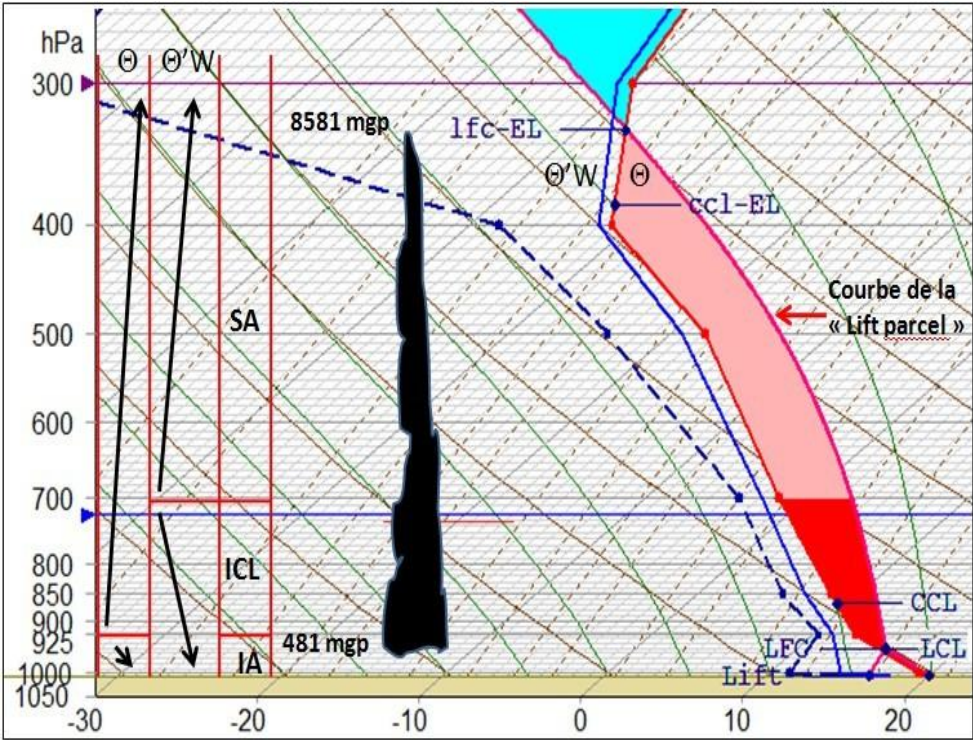


Figure -7. Radiosonde from Trapani (Italy) on 04/10/1996 at 12:00 UTC

The climate table (Tab. I) for this day shows very similar minimum temperatures, maximum temperatures and relative humidity levels at all coastal stations: the whole country is bathed in the same air mass. The Kelibia station was the only one to receive 179.8 mm of rain in 24 hours. It is the closest to the epicentre of the "Medicane" located approximately on the island of Malta. The nearest stations (Nabeul, Tunis-Carthage, Bizerte, etc.) received less than 12 mm. The rest of the country's regions (all stations not listed in the table) recorded nothing. This example highlights the exceptional and spatially limited nature of the intense precipitation caused by this unusual type of atmospheric circulation.

Table I - Weather conditions at several Tunisian stations on 04/10/1996 at 12:00 UTC (data source: INM Tunis)

Stations	Min Temperature (°C)	Max Temperature (°C)	Precipitation (mm)	Thunderstorm	Piche Evaporation (mm)	Relative Humidity (%)	Wind Direction (°)	Wind Speed (m/s)
KELIBIA	13,8	18	179,8	1	1,6	90	29	9
JENDOUBA	12,2	20	11,8	0	2,9	82	30	9
BIZERTE	15,6	19,5	11,5	0	6,1	74	34	14
NABEUL	14,1	18,7	10,9	0	2,4	86	30	9
LE KEF	9,2	19	9	0	1,8	85	31	3
TUNIS	13,6	19,4	8,9	1	4,5	82	31	15
CARTHAGE								
SILIANA	9,6	18	8,8	0	6,8	88	30	11
ZAGHOUAN	13,1	19,4	2,5	0	6,4	74	30	11
MONASTIR	15	21,5	2,3	0	3,6	70	33	13
THELA	6,7	18	1,8	0	5,7	75	34	26
BEJA	13,2	21,8	1,4	1	9,1	77	36	12
TABARKA	13,1	20,4	0,4	0	6,9	74	32	12
MAHDIA	14,6	21,7	0,1	1	3,1	80	37	9

2.2. Heavy rainfall in the sahel region of sousse : case of 29/09/2016.

The heavy rainfall event of 29/09/2016 in the Sahel region of Sousse (Fig. 8) appears to be exceptional both in terms of the daily rainfall totals recorded on that day and the nature of the factors that caused it.

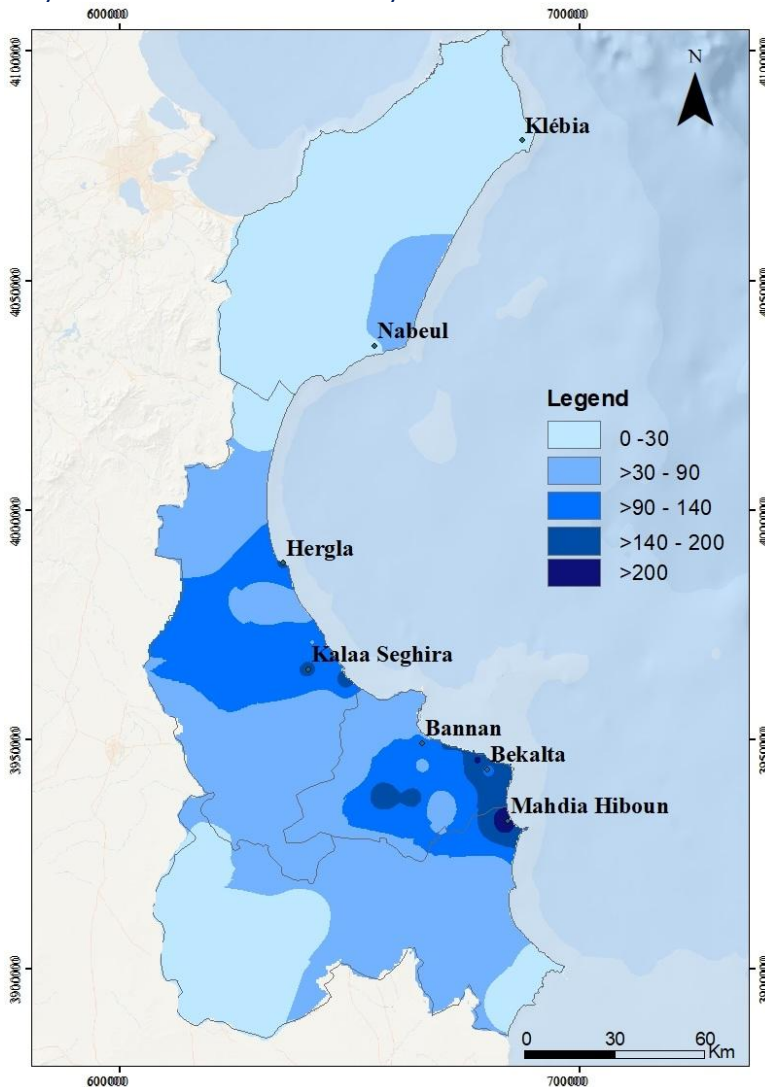


Figure 8. Rainfall (mm) on 29/09/2016 in the Sahel region of Sousse.

The surface barometric field (Fig. 9) is characterised by a large anticyclonic area formed by the junction of a very large and powerful Atlantic anticyclone (1036 hPa) and an equally powerful (1033 and 1031 hPa) and extensive Mediterranean anticyclone. These two systems cover the entire Mediterranean and Black Sea regions, as well as their continental peripheries in North Africa, the Sahara, the Middle East and Europe. The whole of Tunisia is included in the 1020 hPa isobar and the Sahel region of Sousse, which was flooded on that day, is located well within the 1024 hPa isobar. Such high pressure does not, in theory, favour the occurrence of the torrential rains recorded on that day. The very moderate maximum temperatures for that day along the entire eastern coast of the country (24°C in Kelibia and Monastir, 25°C in Sfax and Gabes) rule out the possibility of thermo-convective storms, especially since these most often occur in inland regions.

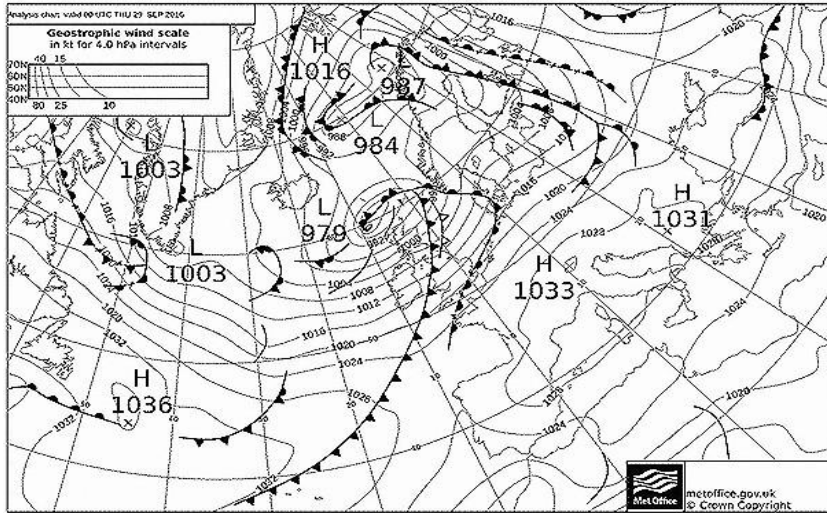


Figure 9. Surface barometric field on 29/09/2016 at 00:00 GMT.

At altitude, the barometric field (Fig. 10) is also characterised by a very high geopotential: Tunisia is located in the 500 hPa surface altitude range between 584 and 588 dam (5840 and 5880 mgp). Under these conditions, theoretically, nothing unusual can occur in terms of cloud cover and precipitation. The configuration of the barometric field at this altitude is characterised by the presence of a low but undeniable altitude depression (almost latitudinal in nature: WSW-ENE) where there is a slight relative drop in the 500 hPa level (572 to 580 dam) compared to the general context described above (5840 and 5880 mgp). Countless configurations, closely related to the properties of surface and altitude barometric fields described above, occur daily and according to regional atmospheric circulation patterns in these regions and throughout all seasons, without causing such intense and spatially concentrated rainfall events.

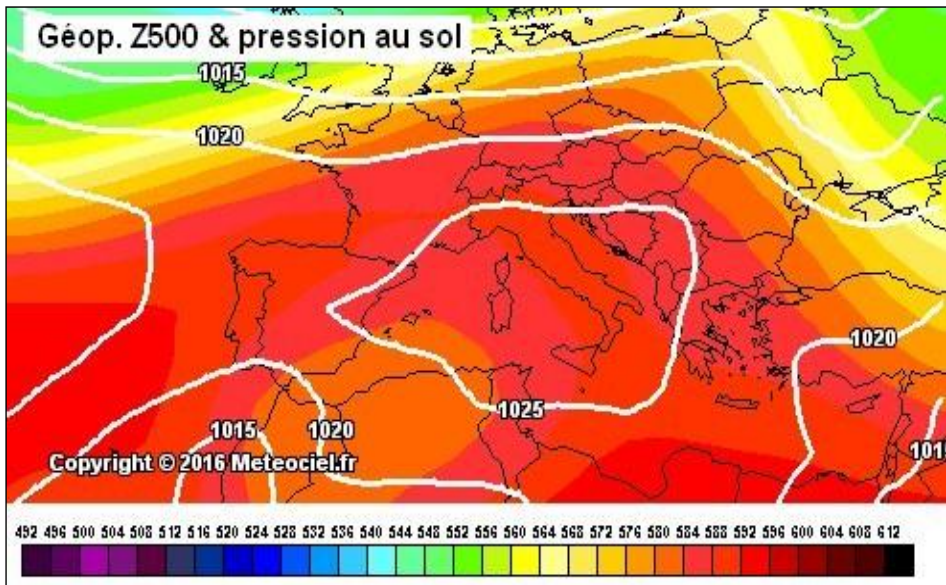


Figure 10. Surface barometric field and 500 hPa geopotential on 29/09/2016 at 12:00 GMT.

Dalel Makhoulfi and Taoufik El Melki/IJWSET -JISTEE, Vol. (x), Issue 4, December 2025, pp.80-94

This upper-level low appears to be closely related to and well superimposed on the subtropical jet stream (surface 300 hPa) above it (Fig. 11). It is widely accepted that the latter plays an important, if not essential, role in shaping spatial configurations and in the temporal evolution of barometric fields, both at the surface and at altitude, in the regions it overhangs.

The jet stream on 29/09/2016, at 12:00 noon, had a rather unusual configuration (Fig. 11). It describes a very narrow "meander" (very similar in appearance to the loop of an "abandoned meander" of a river) over the Sahara, the Mediterranean and southern Europe, with a quasi-latitudinal direction: WSW-ENE, similar to that of the barometric valley described above. Tunisia and Algeria are located right in the middle of this "meander". The driving effect of the two "descending" (over the western Mediterranean) and "rising" branches (over the Sahara) has created two independent cells of vortex circulation (cyclonic /depressive)

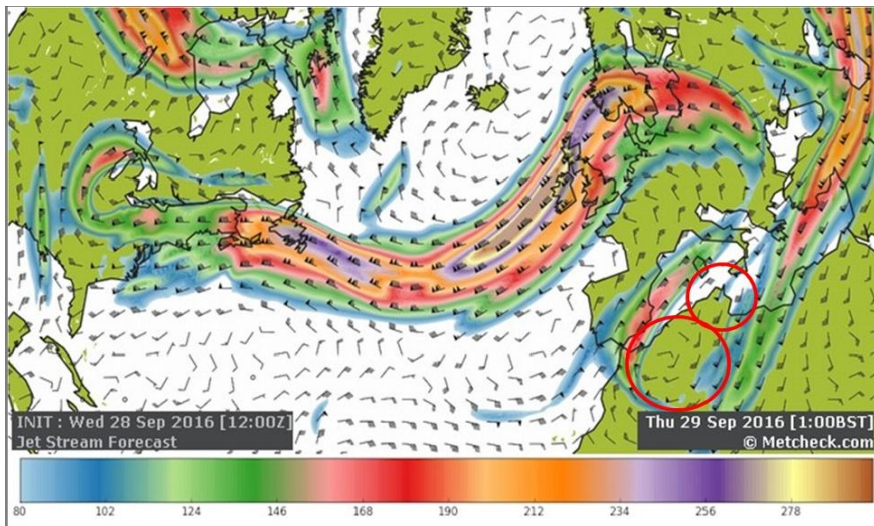


Figure 11. Position of the jet stream on 29/09/2016 at 12:00 GMT

These two cyclonic cells initiated the updrafts/vertical instability that determined the cloud formations observable on satellite images (Fig. 13) from the early hours of 29/09/2016. It should be noted that this high-altitude barometric system had already begun, with the associated cloud cover, in the early hours (00:00) of 28/09/2016 (Fig. 12).

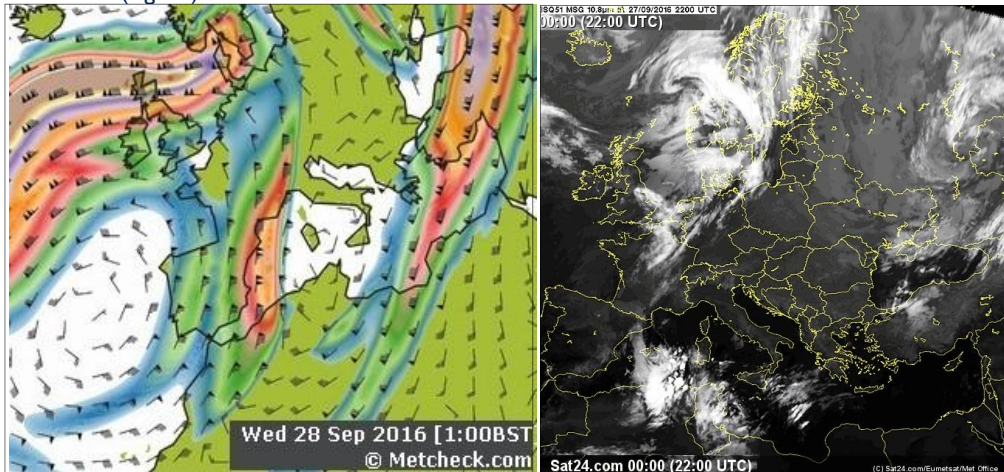


Figure 12. Position of the jet stream on 28/09/2016 at 12:00 GMT (left) and Meteosat satellite image on 28/09/2016 at 00:00 (right).

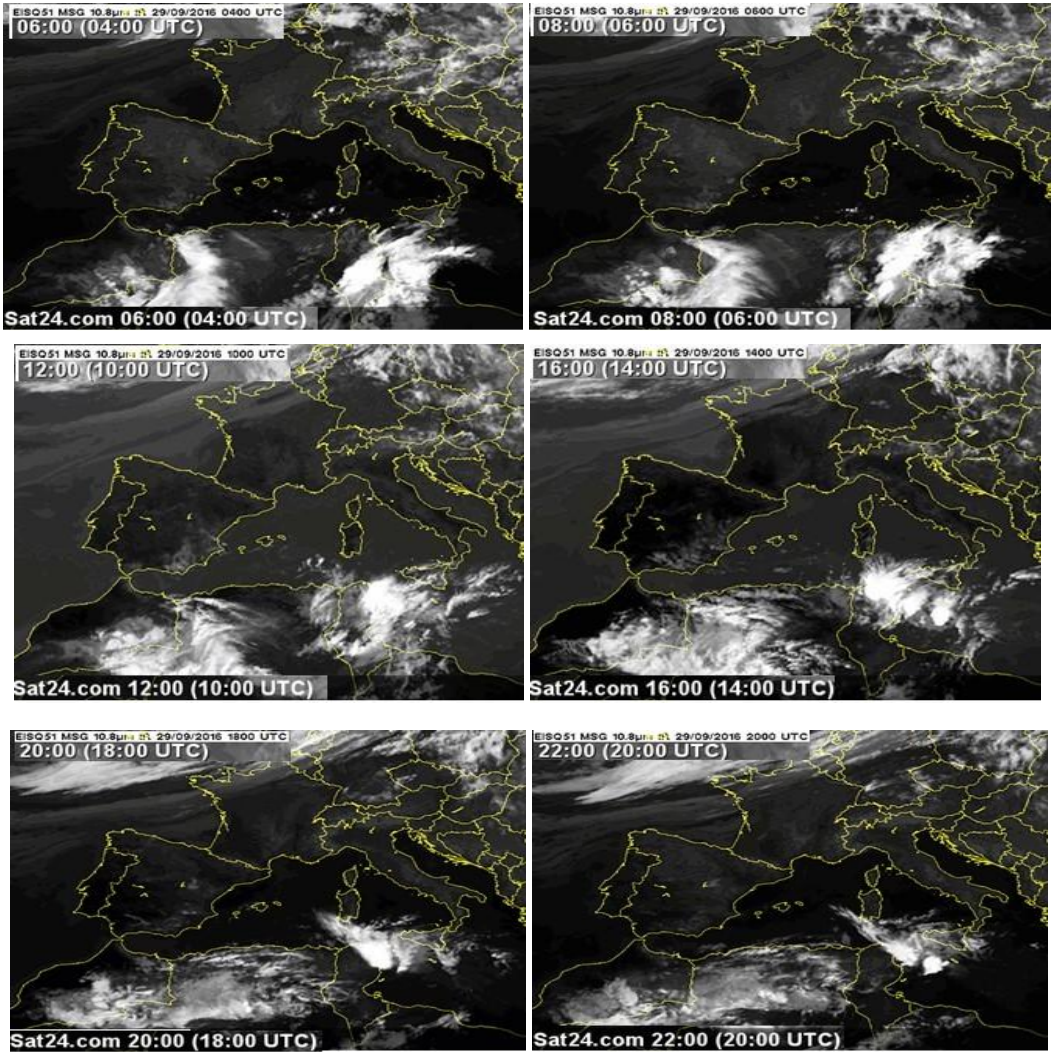


Figure 14. Meteosat satellite images from 29/09/2016: evolution of cloud cover in north-eastern Tunisia between 06:00 and 22:00.

The rainfall that occurred in the Sahel region of Sousse on 29/09/2016 (Fig. 8) was very unevenly distributed beneath the cloud cover that caused it. This issue, which goes beyond the scope of this study and relates to cloud microphysics, provides valuable insight into the interlocking spatial and temporal scales that determine atmospheric phenomena. Taking this fact into account certainly helps to better characterise the different states of the atmosphere.

3. DISCUSSION

3.1 Comparative analysis of the two extreme events

The two extreme rainfall events studied – the Mediane of 4 October 1996 in Kelibia and the convective event of 29 September 2016 in the Sahel region of Sousse are prime examples of the complexity of the atmospheric processes that govern intense precipitation in Tunisia. Although they generated exceptional daily rainfall totals, these events resulted from very different dynamic configurations, showing that distinct mechanisms can lead to comparable hydrometeorological impacts. The 1996 episode was distinguished by the formation of a Mediane, characterised by a compact spiral morphology, a cloud-free centre, strong deep convection and barotropic forcing linked to the passage of an upper-level jet stream. The identified genetic conditions (low vertical wind variation, high atmospheric humidity and high vorticity) were all present, while the superimposition of surface and altitude depressions, combined with the strengthening of the subtropical jet stream, allowed the development of explosive instability leading to a cyclonic system similar to tropical cyclones. Kelibia's location in the immediate vicinity of the Mediane's eye explains the very high spatial concentration of precipitation (179.8 mm/24 hours), while neighbouring stations received only a few millimetres, highlighting the highly localised and non-linear nature of this type of phenomenon. Conversely, the episode of 29 September 2016 shows no morphological or dynamic evidence of the presence of a Mediane. At that time, the country was dominated by a powerful anticyclonic field, with high geopotentials and moderate temperatures, which did not favour the usual thermo-convective storms. The extreme rainfall was caused by an atypical jet stream configuration, forming a tight meander that generated two independent cyclonic cells, responsible for localised and persistent updrafts that gave rise to intense convective cells. This case perfectly illustrates that an anticyclonic situation at the surface does not guarantee the absence of severe convection when synoptic and planetary forcings occur at altitude.

3.2 Role of the jet stream and spatial variability of precipitation

Both episodes highlight the decisive role of the subtropical jet stream, a factor that is still largely unexplored in Tunisian climate studies. In both cases, the jet stream structures the updrafts, reinforces vertical thermal contrasts, frames the low-pressure systems as in 1996 or generates high-altitude vortices as in 2016 and directly contributes to the deep instabilities responsible for intense precipitation. This observation is essential, as most local studies tend to focus on surface mechanisms or simple thermal contrasts, neglecting this fundamental dynamic driver (El Melki, 2007, 2014). Furthermore, observations reveal extreme spatial variability in precipitation in both episodes: in 1996, the contrast between Kelibia (179 mm) and neighbouring stations, which did not exceed 12 mm, was particularly significant, while in 2016, intense rainfall was limited to a few localities in the Sahel. This heterogeneity highlights the importance of cloud microphysics, showing that even under continuous cloud cover – as in 2016 – precipitation can remain highly localised due to local mechanisms that are difficult to detect. All of these elements demonstrate that explaining extreme rainfall in Tunisia requires an integrated approach, taking into account local, synoptic and global scales simultaneously.

CONCLUSION

In recent decades, climatological research has moved towards an applied approach that is increasingly focused on finer spatial scales (local and microclimatic) and shorter temporal scales.

Several factors have contributed to this trend, which seems to be gaining widespread acceptance. The countless technological innovations in the field of microclimatic measurement techniques and tools – particularly portable devices – are among the most important of these factors. By allowing researchers to build their own databases, they are suddenly freed from all the constraints of using conventional databases and the tedious processing of large amounts of information: climate norms. Thus, it seems that the interlocking of the spatial and temporal scales governing atmospheric phenomena is increasingly being neglected, which in some cases can be a major shortcoming.

The atmospheric circumstances surrounding the intense rainfall events of 4 October 1996 in Kelibia and 29 September 2016 in the Sahel region of Sousse demonstrate the complexity of rainfall processes and the

intertwining of multiple factors of varying spatial and temporal scales that determine the genesis of these events. The influence of the subtropical jet stream, a zonal scale factor that is often overlooked among the factors contributing to intense rainfall, proved to be decisive in both events.

This high-altitude current is closely interdependent with the major centres of action (the Azores High and the Icelandic Low (which govern atmospheric circulation in the synoptic zone where Tunisia is located: North Africa and the Sahara, the North Atlantic, Europe and the Mediterranean. In this context, temperate atmospheric circulation is far from being disconnected from that of hot and cold regions. In this context, the increase in global climate variability (various IPCC reports, for example) induced by global warming must inevitably have repercussions on the jet stream patterns. In-depth investigations into the interactions of these factors with intense rainfall in Tunisia are certainly of great interest in terms of short- and medium-term forecasting of such rainfall.

Bibliographical references:

- [1] Akhtar, N., Brauch, J., Dobler, A., Béranger, K., Ahrens, B. (2014). Medicanes in an ocean–atmosphere coupled regional climate model. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14. Pp - 2189–2201.
- [2] Businger, S., Reed, R.J. (1989). Cyclogenesis in Cold Air Masses. *American Meteorological Society*, 4 (Weather and forecasting). Pp - 133-156.
- [3] Cavicchia L, von Storch H (2012). The simulation of medicanes in a high-resolution regional climate model. *Clim Dyn* 39 :2273–2290
- [4] Cavicchia, L., von Storch, H., Gualdi, S. (2014). A long-term climatology of medicanes. *Clim Dyn* 43, 1183–1195 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1893-7>
- [5] Chaboureaud, J.P. (2011). Tempête tropicale en Méditerranée. *Magazine Scientifique, dossier la planétologie*, 24, 18p.
- [6] Chaboureaud, J.-P., Pantillon, F., Lambert, D., Richard, E., Claud, C., (2012). Tropical transition of a Mediterranean storm by jet crossing. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 138 : 596–611. DOI :10.1002/qj.960
- [7] Chen, F., Geyer, B., Zahn, M., von Storch, H. (2012). Toward a multi-decadal climatology of North Pacific Polar Lows employing dynamical downscaling. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 23, 291-301, doi: 10.3319/TAO.2011.11.02.01(A)
- [8] El Melki, T. (2014). Climatologie dynamique de la Tunisie. Publication de la Faculté des Lettres, des Arts et des Humanité, Université de la Manouba, 359p. ISBN :978-99-73-085-36-8.
- [9] El Melki, T. (2015). Les « Medicanes » : perturbations atmosphériques déterminant des déluges en Méditerranée. Actes du symposium international Kerkennah (Sfax) Tunisie, 20 au 24 octobre 2015. Pp : 93-103.
- [10] Emanuel, K.: (2005). Genesis and maintenance of "Mediterranean hurricanes", *Adv. Geosci.*, 2, 217–220, <https://doi.org/10.5194/adgeo-2-217-2005>.
- [11] Feser, F., von Storch, H. (2008). A dynamical downscaling case study for typhoons in Southeast Asia using a regional climate model. *Mon. Weather Rev.*, 136(5), 1806–1815, doi: [10.1175/2007MWR2207.1](https://doi.org/10.1175/2007MWR2207.1).
- [12] Picornell, M. A., Campins, J., and Jansà, A. (2014). Detection and thermal description of medicanes from numerical simulation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 1059–1070, <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1059-2014>.
- [13] Romero, R., Emanuel, K. (2013). Medicanes risk in a changing climate, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 5992–6001, doi :10.1002/jgrd.50475

Sites web :

<http://directinfo.webmanagercenter.com/2016/09/30/tunisie-pluviometrie-durant-les-dernieres->
<http://old.wetterzentrale.de/topkarten/fsfcsreaeur.html>
<http://old.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm>
<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
http://www.metcheck.com/data/archive/netcdf/jetstream/europe_jetstream_2016_9_29_0.jpg?0.26809203931688086
http://www.meteo.fr/temps/dontom/antilles/pack-public/cyclone/tout_cyclone/glossaire.htm
<http://www.meteociel.com/modeles/archives/archives.php>
<http://www.sat.dundee.ac.uk/abin/piccygridhtml/avhrr/>
<http://www.sat.dundee.ac.uk/abin/piccygridhtml/avhrr/1996/10/4/ch5.jpg>
<http://www.sat24.com/history.aspx>
<https://meteorologia.uib.es/medicanes/>
https://www.meteo.fr/temps/dontom/antilles/pack-public/cyclone/tout_cyclone/glossaire.htm
<https://www.meteociel.com/modeles/archives/archives.php>

Enjeux de la gestion intégrée des ressources en eau dans la basse et moyenne vallée de l'Ouémé au Bénin

Dègla Hervé Koumassi^{1,2} and Jean Sodji^{1,2}

¹ Laboratoire Pierre Pagny : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE)

Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA)

Institut du Cadre de Vie (ICaV),

² Université d'Abomey Calavi, B.P 526, Cotonou République du Bénin,

Résumé

La Basse et Moyenne Vallée de l'Ouémé (BMVO) au Bénin est une région caractérisée par un réseau hydrographique complexe et une forte dépendance des populations aux ressources en eau pour leurs activités socio-économiques. Cependant, cette ressource vitale est soumise à des pressions croissantes liées à la croissance démographique, aux changements climatiques et aux pratiques anthropiques non durables. Cette étude identifie les enjeux majeurs de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) dans la BMVO, en mettant en lumière les problèmes d'inondations, de pollution, de conflits d'usage et de dégradation des écosystèmes. À travers une approche participative impliquant 180 assemblées villageoises et 76 entretiens avec des informateurs clés, les résultats révèlent que les principaux défis incluent l'encombrement des drains (36,8 %), les inondations (37,35 %) et la pollution des cours d'eau (23 %). Des recommandations sont proposées pour renforcer la résilience des communautés, notamment la création de Comités Locaux de l'Eau (CLE) et la promotion de pratiques agricoles durables.

Mots clés : GIRE, Ouémé, inondations, pollution, conflits, résilience..

Challenges of integrated water resources management in the lower and middle Ouémé valley in Benin

Abstract

The Lower and Middle Ouémé Valley (LMQV) in Benin is a region characterized by a complex hydrographic network and a strong dependence of the population on water resources for their socio-economic activities. However, this vital resource is subject to increasing pressures linked to population growth, climate change, and unsustainable anthropogenic practices. This study identifies the major challenges of Integrated Water Resources Management (IWRM) in the LMQV, highlighting the problems of flooding, pollution, usage conflicts, and ecosystem degradation. Through a participatory approach involving 180 village assemblies and 76 interviews with key informants, the results reveal that the main challenges include the clogging of drains (36.8%), flooding (37.35%), and the pollution of watercourses (23%). Recommendations are proposed to strengthen the resilience of communities, notably the creation of Local Water Committees (LWCs) and the promotion of sustainable agricultural practices

Keywords: IWRM, Ouémé, floods, pollution, conflicts, resilience

¹ Corresponding author: kharidad1@gmail.com

INTRODUCTION

Les ressources en eau jouent un rôle fondamental dans le développement socio-économique et la préservation des écosystèmes. Elles sont essentielles pour l'agriculture, l'approvisionnement en eau potable, la santé publique et la biodiversité. Dans la basse et moyenne vallée de l'Ouémé, l'eau joue un rôle fondamental dans le maintien des écosystèmes et est une ressource vitale et pilier du développement socio-économique. Elle soutient une agriculture florissante, des activités de pêche essentielles et satisfait les besoins domestiques de populations importantes (Sohinto, 2010, p. 25). Cependant, cette ressource inestimable est soumise à des pressions croissantes, résultant d'une combinaison de facteurs anthropiques et naturels. La croissance démographique rapide intensifie la demande pour l'irrigation, l'industrie et les usages domestiques (Adounvo et al., 2012, p. 89), tandis que les changements climatiques se manifestent par une variabilité accrue des précipitations et des épisodes de sécheresse prolongés (IPCC, 2014, p. 156). Ces pressions convergentes exacerbent la vulnérabilité des populations et des écosystèmes de la région.

La dégradation de la qualité de l'eau, due aux rejets polluants des activités humaines (Worou et al., 2015, p. 32), et la dégradation des écosystèmes aquatiques, tels que les zones humides essentielles à la régulation hydrologique (Mitsch et Gosselink, 2007, p. 187), contribuent également à cette vulnérabilité. La conversion des terres pour l'agriculture et l'urbanisation fragilise les fonctions naturelles de ces écosystèmes, réduisant leur capacité à fournir des services hydrologiques essentiels (Benhin, 2006, p. 54). Face à ces défis, la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) apparaît comme une approche stratégique visant à coordonner le développement et la gestion de l'eau, des terres et des ressources connexes, afin de maximiser le bien-être économique et social sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux. La mise en œuvre de la GIRE dans la BMVO nécessite une compréhension approfondie des dynamiques hydrologiques, des pressions anthropiques et des mécanismes de gouvernance existants.

La GIRE, offre un cadre conceptuel pour aborder ces défis complexes. Des auteurs tels que Vissin E (2007), p. 45) soulignent la nécessité d'une vision holistique intégrant les multiples dimensions de la gestion de l'eau. Parallèlement, Mollinga (2003, p. 67) met en avant l'importance d'une gouvernance inclusive et participative pour une mise en œuvre réussie. Ainsi, la mise en œuvre de la GIRE dans la BMVO apparaît comme une réponse adaptée aux multiples défis liés à la gestion des ressources en eau, nécessitant une collaboration étroite entre les différentes parties prenantes pour assurer la durabilité et la résilience de cette région.

Les enjeux spécifiques de la GIRE dans la basse et moyenne vallée de l'Ouémé englobent la compétition accrue pour l'eau entre les différents secteurs d'utilisation, l'impératif de maintenir et d'améliorer la qualité de l'eau, la nécessité de conserver les écosystèmes aquatiques vitaux et la complexité de la gouvernance de l'eau (Koumasi, 2011, p. 12). La mise en œuvre effective de la GIRE requiert une compréhension approfondie de ces enjeux et l'adoption de stratégies adaptées au contexte local (Mostert, 2003, p. 215). Cette étude vise à analyser les enjeux liés à la gestion intégrée des ressources en eau dans la basse et moyenne vallée de l'Ouémé afin de contribuer à l'élaboration de solutions pour une gestion durable et équitable des ressources en eau dans cette zone cruciale du Bénin.

La basse et moyenne vallée de l'Ouémé (BMVO) compte les 14 Communes que sont Zagnanado, Zogbodomey, Adja-Ouèrè, Bonou, Adjohoun, Aguégués, Dangbo, Porto-Novo, Abomey-Calavi, Sèmè-Kpodji, So-Ava, Toffo et Zè, qui sont d'anciennes communes bénéficiaires des actions de OmiDelta (Fig 1). Mais dans le cadre de cette étude, les Communes d'Ifangni, Pobè, Bohicon, Kétou et de Za-Kpota ont été complétées à la liste des Communes d'étude afin d'avoir des informations particulières sur les villages en amont et en aval n'ayant pas bénéficié des actions de OmiDelta. La figure 1 présente le milieu d'étude.

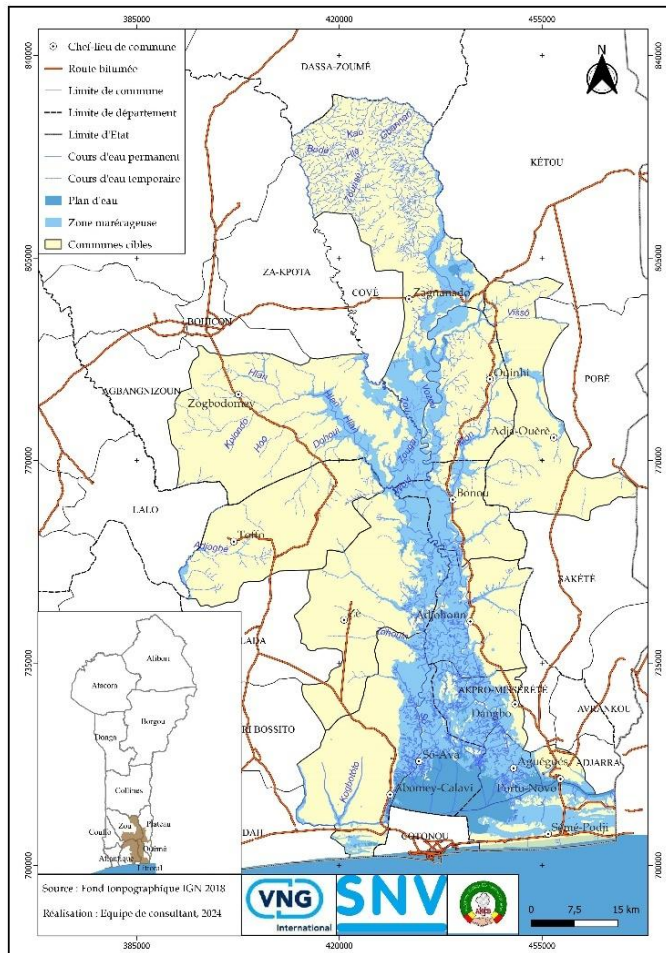


Fig 1: Situation géographique de la zone d'étude

Le secteur d'étude est compris entre 700 000 et 825 000 m de longitude et entre 387500 et 470000 m de latitude nord. Le faciès pédologique est dominé par les sols ferrallitiques et les sols hydromorphes surplânté dans le nord de la vallée par les sols ferrugineux et les vertisols qui sont situés dans les zones de marécages et les plaines inondables. Ce faciès pédologique est façonné par un climat de type subéquatorial avec deux (02) saisons sèches. La moyenne pluviométrique annuelle varie entre 1100 à 1200 mm.

Les principales activités économiques développées qui nécessitent l'utilisation de la ressource en eau sont entre autres : l'agriculture, la pêche artisanale, l'élevage de bovins (pratiqué par les Peuhls transhumants), l'exploitation du sable fluvial etc.

I. Méthodologie de l'étude

La démarche méthodologique adoptée dans le cadre de cette étude est une approche multidisciplinaire intégrant plusieurs méthodes complémentaires pour une analyse approfondie des enjeux liés à la gestion des ressources en eau. Elle s'articule autour de la recherche documentaire, les investigations dans 20 communes (soit 14 communes OMIDELTA et 6 communes non OMIDELTA) et le traitement des données recueillies. La revue documentaire a conduit à la consultation des documents sur les aspects physiques de la basse vallée de l'Ouémé et les études antérieures sur les enjeux / problématiques GIRE sous le projet OMIDELTA dans le bassin. À cet effet, les centres de documentation de l'Université d'Abomey-Calavi (FASHS, BIDOC-FSA,

Dégla Hervé Koumassi and Jean Sodji /IJWSET-JISTEE, Vol. (x), Issue 4, December 2025, pp.95-103

LHA, LACEEDE), des institutions nationales et ceux des ministères, agences et directions (DGEau, PNE-B, SNV, VNG, ONGs, Météo-Bénin, etc.). Les informations issues de ces centres de documentation ont été complétées par la recherche des rapports scientifiques sur internet. Cette étape a permis de contextualiser les problématiques et d'identifier les cadres institutionnels et stratégiques pertinents.

Les assemblées villageoises ont pour but de donner une place aux habitants dans l'identification et la définition des problématiques de la gestion des ressources en eau dans leurs villages. Animés par des facilitateurs, ces AG ont été l'occasion pour les parties prenantes de faire la cartographie de leur localité avec les différents cours et plans d'eau. Les facilitateurs repartis en binômes ont réalisé les assemblées villageoises à travers l'ensemble des 14 communes OMIDELTA et 6 communes non OMIDELTA. Ainsi un total de 180 assemblées villageoises a été réalisée et qui a permis la participation communautaire et la collecte de données qualitatives sur les perceptions locales des enjeux liés à l'eau. A cela s'ajoute 76 entretiens directs et semi-directs réalisés avec des acteurs clés, notamment des autorités locales, des représentants d'ONG et des usagers, afin de recueillir des informations détaillées sur les pratiques, les défis et les initiatives en cours. Au terme de la collecte, les usages et usagers des ressources en eau ont été identifiés ainsi que les problèmes de gestion des ressources en eau dans les localités. La planche I, présente les images de séance d'AG dans les arrondissements de Sedje Dénou et Attougon dans l'arrondissement de Zogbodomey-centre



Planche I : Séance d'AG à Agongbo dans l'arrondissement de Sedje Denou commune de Zè et à Attougon commune de Zogbodomey

Les données collectées ont été traitées à l'aide des logiciels SPSS et R. Cette analyse statistique a permis de prioriser les enjeux en identifiant les facteurs déterminants et en évaluant leur impact relatif, fournissant ainsi une base solide pour la formulation de recommandations pertinentes. L'utilisation du Système d'Information

Déglà Hervé Koumassi and Jean Sodji / IJWSET-JISTEE, Vol. (x), Issue 4, December 2025, pp.95-103

Géographique (SIG) ArcGIS 10.8 a permis de spatialiser les problèmes identifiés. Cette cartographie a facilité la visualisation des zones critiques, des infrastructures existantes et des dynamiques territoriales, contribuant ainsi à une meilleure compréhension des enjeux spatiaux.

La figure 2, présente la répartition des localités dans lesquelles les AG ont eu lieu dans la basse et moyenne vallée de l'Ouémé.

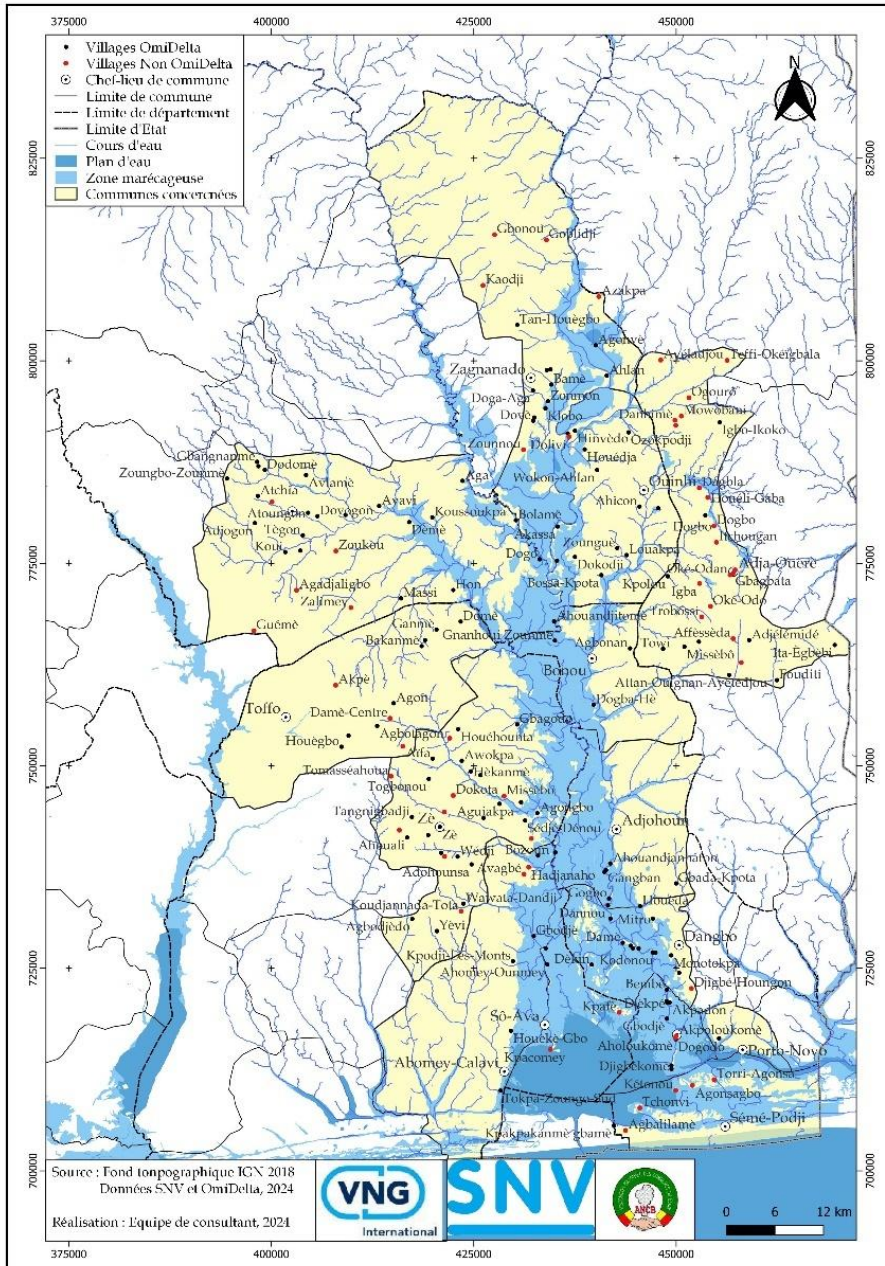


Fig 2 : Répartition des villages enquêtés dans la BMVO

2. RESULTATS

2.1. Principaux usages des ressources en eau

Dans la basse vallée de l'Ouémé, les ressources en eau sont utilisées pour divers besoins, reflétant l'importance de l'eau dans les activités économiques, sociales et environnementales. La figure 3 présente les principaux usages faits de la ressource dans la BMVO.

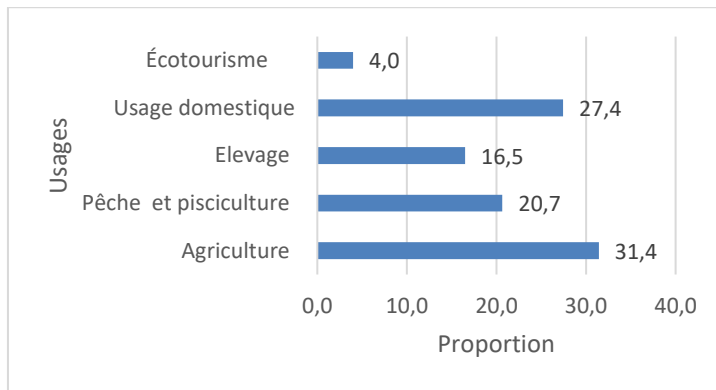


Fig 3 : Usages des ressources en eau dans la BMVO

Les ressources en eau du Bassin de la Vallée de l'Ouémé (BMVO) jouent un rôle crucial dans le développement socioéconomique local en soutenant divers secteurs vitaux. L'agriculture représente le principal secteur utilisateur, avec 31 % de la ressource mobilisée principalement pour l'irrigation des cultures vivrières telles que le maïs, le riz et les légumes. Cette utilisation contribue significativement à la sécurité alimentaire dans la région, en particulier durant les périodes de faible pluviométrie. La pêche et la pisciculture, qui consomment environ 20,71 % des ressources en eau, sont également des activités majeures pour les populations riveraines. Elles constituent non seulement une source de revenus, mais aussi une composante essentielle de l'alimentation locale. L'élevage, quant à lui, mobilise environ 16,5 % des ressources disponibles. L'eau est indispensable à l'abreuvement du bétail, notamment pour les éleveurs transhumants qui traversent régulièrement le bassin à la recherche de pâturages. Enfin, l'usage domestique, bien qu'encore difficile à quantifier de manière précise, reste transversal à tous les secteurs. Il est vital pour les besoins quotidiens des ménages, allant de la consommation à l'hygiène, en passant par la cuisine et l'entretien. Ainsi, la gestion durable de ces ressources est essentielle pour préserver l'équilibre entre les différents usages et garantir la résilience des communautés.

2.2. Enjeux identifiés

L'usage intensif de l'eau et les différentes pollutions qu'il engendre, l'augmentation des événements extrêmes comme les inondations et les sécheresses engendrées par les modifications du climat ainsi que l'érosion et la modification des régimes des cours d'eau due à la dégradation des sols et des formations végétales, se combinent pour générer une multitude d'enjeux liés à la gestion intégrée de l'eau. La figure 4 présente les enjeux identifiés dans la BMVO.



Fig 2 : Principaux enjeux dans la BMVO

Les enjeux liés à la gestion durable des ressources naturelles dans le Bassin de la Vallée de l'Ouémé (BMVO) se répartissent en trois grandes catégories, identifiées à partir des analyses de terrain et des consultations locales. En premier lieu, la gestion des risques naturels représente une problématique majeure. Les inondations, qui affectent 37,35 % du territoire, sont exacerbées par les fortes pluies saisonnières et l'ensablement des cours d'eau, réduisant leur capacité d'écoulement. À cela s'ajoute l'érosion des sols (8 %), aggravée par la déforestation et les pratiques agricoles non durables, menaçant la fertilité des terres et la stabilité des berges fluviales.

La deuxième catégorie concerne la conservation des écosystèmes. La pollution des eaux, signalée dans 23 % des cas, résulte essentiellement des intrants agricoles, des déchets domestiques mal gérés et des rejets d'hydrocarbures, compromettant la qualité des milieux aquatiques. La prolifération de la jacinthe d'eau, symptôme d'eutrophisation, constitue un autre défi environnemental. Elle gêne la navigation, entrave la pêche artisanale et détériore la qualité de l'eau.

Enfin, les enjeux liés à la gouvernance et aux conflits d'usage sont particulièrement préoccupants. Des tensions autour de l'accès à l'eau sont signalées dans 64 % des localités, principalement entre agriculteurs et éleveurs (96 % des cas). Ces conflits traduisent une concurrence accrue pour les ressources, exacerbée par l'absence de dispositifs de canalisation adaptés, qui contribue aussi à l'aggravation des inondations et à l'encombrement des drains. Ces constats appellent à une réponse intégrée et participative pour prévenir les risques, restaurer les écosystèmes et promouvoir une gouvernance équitable de l'eau.

2.3. Initiatives locales de gestion

Face aux multiples défis environnementaux et socio-économiques rencontrés dans le Bassin de la Vallée de l'Ouémé, plusieurs initiatives locales de gestion ont émergé, portées par des acteurs communautaires et institutionnels. Les Comités Communaux de l'Eau (CCE), appuyés par des projets structurants tels que OmiDelta et PSL Eau, ont joué un rôle déterminant dans la mise en œuvre d'actions concrètes. Parmi ces actions figurent le désencombrement et l'entretien des canaux d'évacuation, essentiels pour améliorer l'écoulement des eaux et réduire les risques d'inondation. Des digues ont été construites et des systèmes d'alerte précoce mis en place afin de renforcer la résilience des populations face aux aléas climatiques. Par ailleurs, des campagnes de sensibilisation ont été menées pour promouvoir des pratiques durables de gestion de l'eau et de préservation de l'environnement. Ces initiatives, bien que localisées, démontrent la capacité des communautés à s'organiser autour d'enjeux partagés et à adopter des solutions adaptées à leur contexte.

3.DISCUSSION

La gestion intégrée des ressources en eau dans le Bassin de la Vallée de l'Ouémé (BMVO) met en évidence une tension croissante entre les usages multiples de l'eau, les pressions environnementales et les limites actuelles de la gouvernance locale. Comme le souligne la FAO (2021), l'agriculture reste le premier utilisateur d'eau douce en Afrique de l'Ouest, ce qui correspond à la situation observée dans le BMVO, où l'irrigation des cultures vivrières capte plus de 30 % des ressources. Cette demande s'ajoute aux besoins importants de la pêche, de l'élevage et de l'usage domestique, dans un contexte de changement climatique et de variabilité accrue des régimes hydrologiques (GIZ, 2020).

Les défis environnementaux – inondations, érosion, pollution, conflits d'usage – traduisent une dégradation progressive des écosystèmes aquatiques, exacerbée par l'urbanisation non maîtrisée et des pratiques agricoles extensives (World Bank, 2022). Les conflits d'usage, notamment entre agriculteurs et éleveurs, affectent près de deux tiers des localités concernées, et sont désormais reconnus comme des indicateurs critiques de vulnérabilité socio-environnementale (Tschakert et al., 2023). Dans ce contexte, plusieurs pistes d'actions se dessinent. Il est prioritaire de renforcer les Comités Locaux de l'Eau (CLE) en assurant une représentation équilibrée de tous les usagers – agriculteurs, pêcheurs, éleveurs – afin de mieux prévenir les conflits et coordonner les usages. La promotion de solutions fondées sur la nature, comme le reboisement des berges ou la mise en place de zones tampons végétalisées, permettrait de réduire l'érosion, améliorer l'infiltration et restaurer les fonctions écologiques des écosystèmes aquatiques. Par ailleurs, il est crucial de renforcer la gouvernance locale à travers un plaidoyer pour des politiques inclusives, intégrant les savoirs locaux et les dynamiques communautaires (ONU-Eau, 2023). Enfin, la sensibilisation des acteurs, notamment par des campagnes sur les effets des intrants agricoles et des polluants, s'avère indispensable pour induire des changements de pratiques et une appropriation citoyenne de la gestion de l'eau. Ces axes convergent vers une approche territorialisée, participative et durable de la gestion de l'eau, à la hauteur des défis croissants du bassin.

CONCLUSION

Cette étude a permis de démontrer que la basse et moyenne vallée de l'Ouémé est soumise à de nombreux enjeux de gestion des ressources en eau assortis d'une complexité de problème de gestion. Face à ces enjeux complexes, il est nécessaire de mettre en place des interventions coordonnées et durables. Les initiatives locales et les projets comme DURAGIRE offrent des pistes prometteuses, mais leur succès dépendra de l'engagement des communautés et de l'intégration des enjeux climatiques. Une gestion équilibrée des ressources en eau est essentielle pour assurer la résilience et le développement socio-économique de la région.

Références

- [1] Sohinto, D., and M. Aïna. "Analyse économique et financière de cinq chaînes de valeurs ajoutées (CVA) de la filière maïs au Bénin." Rapport provisoire d'étude, 76p (2010).
- [2] Adounvo, C., et al. (2012). Agriculture et gestion de l'eau dans le bassin de l'Ouémé.
- [3] IPCC. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 1132 pages.
- [4] Worou, O. N., Gaiser, T., & Oikeh, S. (2015). Sensitive parameters for EPIC model evaluation and validity under soil water and nutrients limited conditions with NERICA cropping in West Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 10(22), 2286-2299.
- [5] Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2007). Wetlands (4th ed.). John Wiley & Sons, 582 pages.
- [6] Benhin, J. (2006). Climate change and its impacts on water resources in Africa. *Economics of Natural Resources*, 1(1), 49–65.
- [7] Vissin, E. (2007). Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger (Doctoral dissertation, Université de Bourgogne).
- [8] Mollinga, P. P. (2003). The water resources policy process in India: Centralisation, polarisation and fragmentation. *Natural Resources Forum*, 27(1), 59–69.

- [9] Koumassi D. H. (2011). Gestion intégrée des ressources en eau dans la Commune de Savalou au Bénin, Mémoire de DEA, Université d'Abomey Calavi, 100 p
- [10] Mostert, E. (2003). A conceptual exploration of water governance. *Water Policy*, 5(1), 191–221.
- [11] FAO. (2021). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 224 pages.
- [12] GIZ (2020). Water Security and Climate Resilience in West Africa. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 60 pages.
- [13] World Bank. (2022). Water Security Diagnostic for Sub-Saharan Africa. Washington, DC: World Bank Group, 150 pages.
- [14] Tschakert, P., Parsons, M., Atkins, E., Garcia, A., Godden, N., Gonda, N., ... & Ziervogel, G. (2023). Methodological lessons for negotiating power, political capabilities, and resilience in research on climate change responses. *World Development*, 167, 106247.
- [15] ONU-Eau. (2023). Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2023 : Partenariats et coopération pour l'eau. UNESCO, 200 pages.

[Lien d'inscription Colloque Eau-Trame verte bleue-Climat'2026](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfGBsVFyrsqHcRzzGsIwAS7GLxXj7zNWK1FVB1am3h4vrY4bw/viewform?usp=dialog)
<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfGBsVFyrsqHcRzzGsIwAS7GLxXj7zNWK1FVB1am3h4vrY4bw/viewform?usp=dialog>



REPUBLIQUE TUNISIENNE

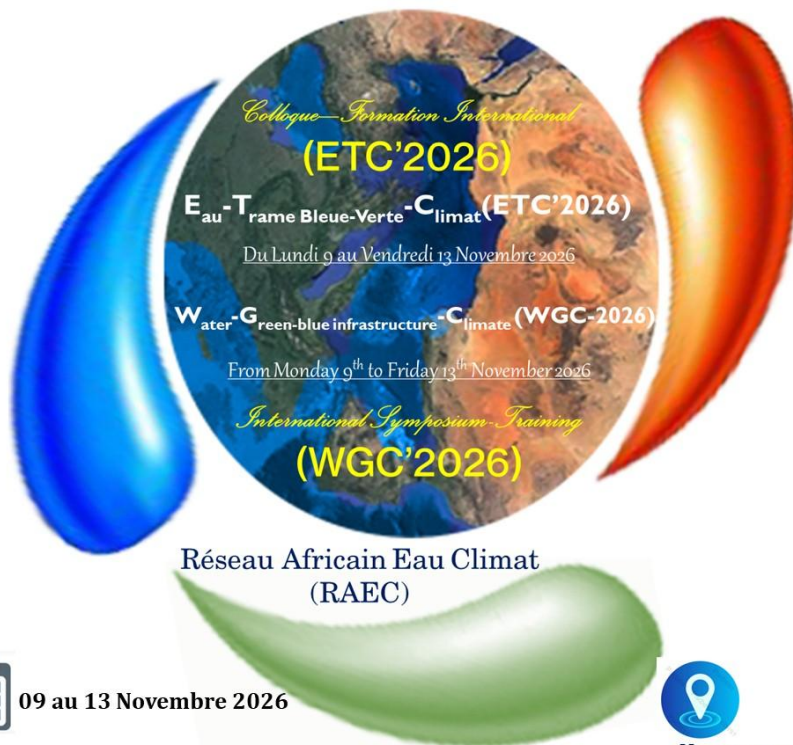


Colloque-Formation International (ETC'2026)

Indexation : e-ISSN: 1737-9350 p-ISSN: 1737-6688

Réseau Africain Eau Climat (RAEC)

Ressources en Eau, Trame Bleue Verte
et Changement Climatique



09 au 13 Novembre 2026



Hammamet (Tunisie)

Pour plus d'informations veuillez contacter

Pr. Nouredine GAALOUIL

eauclimat@iresa.agrinet.tn et en Cc eauclimat@yahoo.com



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

©2025 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V(x), Issue 4 – December 2025 - jstee.org/volume-xx-2025/

Lien d'inscription Formulaire Formation Eau-Trame verte bleue- Climat'2026

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScdLJBkuyRY7pkPmXIENfr6UETqw3pBbnEI5J4ZpMJFhTbYwg/view?usp=dialog>



Réseau Africain Eau Climat (RAEC)



du Jeudi 12 au Vendredi 13 Novembre 2026



Hammamet (Tunisie)

Formation Internationale

|Indexation| e-ISSN: 1737-9350 p-ISSN: 1737-6688

Neuf modules au choix des formations au profit des
Ingénieurs, Jeunes Doctorants et chercheurs
seront animés par des Experts Internationaux.

Module 1 : Modélisation des Ressources en Eaux de Surface et Hydro chimie des
eaux

Module 2 : Modélisation mathématique des écoulements et du transport de
polluants dans les sols et les nappes souterraines

Module 3 : Système D'Information Géographique et Géomatique

Module 4: Q SIG et Modélisation Hydro-Agro-Climatologique SWAT

Module 5 : Modélisation d'un réseau d'AEP à l'aide du logiciel Epanet

Module 6 : Intelligence Artificielle un outil pour l'Ingénieur en Eau, Énergie Et
Environnement

Module 7 : Anglais Scientifique; Comprendre et communiquer et Rédiger et publier
un article scientifique

Module 8 : Formation : leadership durable : Gérer les talents pour construire un
avenir vert

Module 9: Smart Agriculture: L'agriculture intelligente face au climat

www.jistee.org

|Open Access Journal|

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

eaucimat@yahoo.com

eaucimat@iresa.agrinet.tn



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

©2025 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V(x), Issue 4 – December 2025 - jistee.org/volume-xx-2025/



**Appel à contributions : Prochain numéro la revue
Scientifique : JISTEE – Mars 2026**
**Call for contributions: Next issue of the Scientific review:
JISTEE – March 2026**

✓ Open-access Journal

✓ Double-anonymous Peer Reviewing

✓ Fast Publication: 20-30 Days

<http://jistee.org/journal-international-sciences-et-techniques-de-leau-et-de-lenvironnement/>

**Appel à contributions : Prochain numéro la revue Scientifique :
JISTEE – Mars 2026**

Le thème retenu pour 2026 est “ **Eau- Trame Bleue Verte – Climat**”, en vous rappelant, si besoin en était, que le changement global couvre à la fois le changement climatique et les changements anthropiques (variations d'occupation des sols et aménagements des bassins versants, prélèvements, etc.).

Nous lançons donc un appel à contributions pour des articles (articles longs, courts, encadrés) qu'il vous paraîtrait intéressant de voir figurer dans ce numéro de la revue Scientifique : Journal International Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (JISTEE).

Les contributions seront attendues pour le courant du mois de Février 2026 afin de pouvoir être révisées par le Comité Scientifique International et que la mise en forme du numéro ait lieu en Mars 2026 au plus tard.

Visiter notre site : <https://jistee.org/journal-international-sciences-et-techniques-de-leau-et-de-lenvironnement/>



**Call for contributions: Next issue of the Scientific review:
JISTEE – Mars 2026**

International Journal of Water Science and Environment Technologies

Open access Journal are freely accessible via the internet for immediate worldwide. This Journal is an Open Access International Journal and will accept research and review manuscripts ranging from, Basic research on Water, Climate, Environment, Hydrology; hydrogeology and management of water resources; Agricultural hydraulics (Irrigation, Drainage, etc.), Modeling of Water Resources (Hydraulics, Hydrology, Hydrogeology), Physico-chemical quality of Surface and groundwater; Hydrobiology, microbiology, toxicology and ecotoxicology; the structure and function of aquatic ecosystems; Water quality, wastewater treatment and drinking water; Municipal and industrial wastewater treatment; Management of water resources (quantitative, socio-economic and legal aspects)

The manuscript/ paper can be submitted via email to jistee@iresa.agrinet.tn
or jistee@yahoo.com

to our online direct submission area, located here: <http://jistee.org/journal-international-sciences-et-techniques-de-leau-et-de-lenvironnement/>



Invitation for Research Article – March 2026 Submit Your Paper WWW.JISTEE.org

e-ISSN: 1737-9350 p-ISSN: 1737-6688, | Open Access Journal |
Volume (x) - Issue 1 – March 2026

Dear Researcher

We are happy to inform you that the International Journal Water Sciences and Environment Technologies of Current Advanced Research print and online journal, e-ISSN: 1737-9350 p-ISSN: 1737-6688, | Open Access Journal | is launching its next issue (September 2022). We would like to invite you to contribute your Research Article for publication in IJWSET.

We publish

- Original papers,
- Theory-based Empirical Papers,
- Review Papers,
- Case Reports,
- Conference Reports/Papers,
- Technology Reports,

Description :

- **Area of concentration:** Basic research on Water, Climate, Environment, Hydrology; hydrogeology and management of water resources; Agricultural hydraulics (Irrigation, Drainage, etc.), Modeling of Water Resources (Hydraulics, Hydrology, Hydrogeology), Physico-chemical quality of Surface and groundwater; Hydrobiology, microbiology, toxicology and ecotoxicology; the structure and function of aquatic ecosystems; Water quality, wastewater treatment and drinking water; Municipal and industrial wastewater treatment; Management of water resources (quantitative, socio-economic and legal aspects)
- **Frequency of publishing:** quaternar.: March; June, September and December
- **Mode of publishing:** Print and online
- **Language of publication:** English and French

We invite you to submit your manuscript(s) to jistee@iresa.agrinet.tn (and CC jistee@yahoo.com) , for publication. Our objective is to inform authors of the decision on their manuscript(s) within 24h of submission. Following acceptance, a paper will be published in the Current issue.

With Warm Regards

Editor-In-Chief

IJWSET Journals

International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

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

©2025 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V(x), Issue 4 – December 2025 - jistee.org/volume-ix-2025/

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

[Open Access Journal]

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

Volume (x) - Issue 4 – December 2025

W_{ater}-B_{iodiversity}-C_{limate} 2025



Water-Biodiversity-Climate:

*Sustainable Qualitative and quantitative
characterization of water resources*

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

Scientific and Technical Association for Water and
the Environment in Tunisia (*ASTEE-Tunisie*)