

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

| Open Access Journal|

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

Volume (x) - Issue 3– November 2025

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



Water-Biodiversity-Climate:

*Biodiversity, Sustainable Water Security
and Climate Change*

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

Hamadi Habaieb

Zouhaier Hlaoui

Adel Kharroubi

Rachid Boukchicha

Nouredine Hamdi

Mohamed Habib Sellami

Hechmi Belaid

Rim Katlane

Ibrahim Amadou Traoré

Mohamed Meddi

Azzedine Hani

Larbi Djabri

Salah Eddine Ali Rahmani

Saadane Djorfi

Mohammed Achite

Abdelhalim Yabiaooui

Mohamed Bessenasse

Benabadi Noury

Abdessamad Merzouk

Beloulou Laroussi

Abdelhalim Yabiaooui

Gmergazgi Saadia

Gwendouzi Abdelhamid

Khoulalia Wacila

Belkacem Bekkoussa

Ali Essahlaoui

El Onali Abdelbadi

Abdellab El Hmaidi

Imad Mansouri

Abdelmajid Moumen

Mbamed Anyay

Abdelaziz Abdallaoui

Nadia Lablou

Amadou Thierno Gaye

Sousou Sambou

Diop Ngom Fatou

Abdoulaye Faty

Soro Nagnin

Gnamba Franck Maxime

Soro Nagnin

Cush Ngongo Lwesi

Koussoubon A. Leonard

Koumassi Dégla Hervé

Hamma Yaouba

Harouna Karambiri

Lienou Gaston

Gnandi Kissao

Hamadoun Bokar

Salina Sanou

Saeid Eslamian

Amadou Gaye

Richard Anyah

Benjamin Lamptey

Aqeel Al-Adili

Moumtaz Razack

Lucila Candella

Fotis K. Pliakas

Andreas Kallioras

Christoph Schüth

Jean-François Deligé

Prof. University of Carthage – IRESA - INRGREF (Tunisia)

Prof. University of Carthage – IRESA - INAT (Tunisia)

Prof. University of Tunis - Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis (Tunisia)

Prof. University of Gabès – ISSTEG (Tunisia)

M.Conf. University of Gabès – ISSTEG (Tunisia)

Prof. Université of Gabès – ISSTEG (Tunisia)

M.Conf. University of Jendouba – IRESA- ESIM (Tunisia)

M. Assistant. University of Jendouba -IRESA- ESIM (Tunisia)

M.Conf. University of Manouba - Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités (Tunisia)

Expert Hydrogeologist

Prof. ENSH, (Algeria)

Prof. Univ. Annaba (Algeria)

Prof. Univ. Annaba (Algeria)

Prof. University Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Algeria)

Prof. University of Annaba (Algeria)

Prof. University of Chlef (Algeria)

Prof. University of Bechar (Algeria)

Prof. University of Saad Dablab- Blida (Algeria)

Prof. University of Tlemcen (Algeria)

Prof. University of Tlemcen (Algeria)

Prof. University Badji Mokhtar, Annaba (Algeria)

M.Conf. Univ. Bechar (Algeria)

M.Conf. University of Biskera (Algeria)

M.Conf. University of Blida1 (Algeria)

M.Conf. University of Souk-Abras (Algeria)

M.Conf. University Mustapha Stambouli de Mascara (Algeria)

Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)

Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)

Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)

Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)

Prof. University Nadour (Morocco)

Prof. University of Fès (Morocco)

Prof. University Moulay Ismail (Morocco)

M.Conf. University Mohamed V Rabat (Morocco)

Prof. University of Cheikh Anta Diop, Dakar, (Senegal)

Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Senegal)

Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Senegal)

Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST ((Senegal)

Prof. UFR STRM (Ivory Coast)

Prof. UFR STRM (Ivory Coast)

Prof. UFR STRM (Ivory Coast))

Prof. Univ. Dem. Rep. (Congo)

Prof. FLLAC/ UAC (Congo)

Prof. LACEEDE/UAC (Benin)

Prof. 2iE (Burkina Faso)

Prof. 2iE (Burkina Faso)

Prof. Univ. Yaoundé (Cameroun)

Prof. Univ. Lomé (Togo)

Prof. Univ. ENI-abt (Mali)

Pan African Climate Justice Alliance (Kenya)

Prof. University of. Isfahan (Iran)

Prof. CR4D (Ethiopia)

Prof. CR4D (Ethiopia)

Prof. CR4D (Ethiopia)

Prof. Univ. Technology (Iraq)

Prof. University of Poitiers (France)

Prof. Univ. Catalonia (Spain)

Prof. Univ. Thrace (Greece)

Prof. Univ. Athens (Greece)

Prof. Tech.Univ. Darmstrad (Germany)

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.ijsstec.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. *Tunis*)

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, (435 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

- Bouayed Ibtissam Sarra** (Université de Tlemcen- Algérie), *Bemoussat Dekkak Soumia.* 6
: Interactions entre changement climatique et dynamique de la biodiversité dans la région de Tlemcen
- Mègnongon Clément Léopold Babadjihou** (Université d'Abomey-Calavi - Benin) 17
Toundé Roméo Gislain Kadjebin And Franco-Néo Camus Djessonou. Incidences des reformes foncières sur la sécurité alimentaire dans la commune de Sèmè-Podji au Sud-est du Benin
- Amor Boughdiri** (Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, Tunisie) *Gouider Tibaoui, Samia Zaidi.* 30
Etude des comportements agro-physiologiques du bersim et de ray-grass sous l'effet d'un stress hydrique dans un contexte de changement climatique
- Mohamed Abbad** (Laboratory of Plant Production and Biotechnology, Faculty of Nature and Life Sciences, Department of Biotechnologies., Blida, Algeria) *Amina Djerdjouri and Nedjouna Zemouri.* 38
Evaluation of the allelopathic effect of Sinapis arvensis on the germination and growth of seedlings of Triticum durum and Hordeum vulgare under controlled conditions
- Touarfia Moundji** (Department of Biological Sciences, Faculty of Nature and Life Sciences, University of Souk Ahras, Algeria) *Bouali Nourredine, Menaa Mobcen, Ayari Adel, Djonamaa Abdelkader, Bouzabouane Hana, Barour Ali and Maa'zi Mohamed Cherif.* 47
Étude phytosociologique et cartographie de la végétation des zones humides de la région de Souk Ahras (Nord-Est de l'Algérie)
- Franck Michaël Zahui** (Université de Man, Côte d'Ivoire) *Jean-Marie Pétémanagnan Ouattara, Amichalé Jean Cyrille Beda, and Lacina Coulibaly.* 55
Pression de l'exploitation artisanale de l'or sur le fleuve Cavally, dans le périmètre de la mine d'Ity (Ouest, Côte d'Ivoire)
- Amira Akacha** (Université de Tunis El Manar, Tunis, Tunisie) *Riadh Badraoui, Tarek Rebai and Lazhar Zourgui.* 67
Effet préventif de l'extrait éthanolique des cladodes de cactus (*Opuntia ficus-indica*) sur les dommages oxydatifs rénaux induits par le méthotrexate chez des rats Wistar.

www.istee.org

|Open Access Journal|

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

Interactions entre changement climatique et dynamique de la biodiversité dans la région de Tlemcen

Bouayed Ibtissam Sarra¹ and Bemoussat Dekkak Soumia²

¹MCB, Faculté SNV.STU-Université de Tlemcen,

² MCB, Faculté SNV.STU-Université de Tlemcen,

Résumé

La région de Tlemcen, située au nord-ouest de l'Algérie, est caractérisée par une diversité écologique remarquable. Parmi ses zones naturelles sensibles figure la région de Sebâa Chioukh, une localité rurale riche en biodiversité, connue pour ses paysages forestiers, ses ressources en eau et ses écosystèmes variés. Toutefois, ces milieux sont de plus en plus menacés par les effets du changement climatique. La baisse des précipitations, l'irrégularité des saisons et l'augmentation des températures affectent directement les ressources hydriques locales. Les nappes phréatiques s'amenuisent, les sources traditionnelles s'assèchent, et les périodes de sécheresse deviennent plus fréquentes.

Ce stress hydrique fragilise également les écosystèmes locaux. Plusieurs espèces végétales et animales, notamment endémiques, sont en déclin à cause de la perte d'habitat et du manque d'eau. L'agriculture, pilier économique de la région, est également impactée par la rareté de l'eau, ce qui accentue la pression sur les milieux naturels.

Face à ces défis, des initiatives de reboisement, de protection des espèces et de sensibilisation environnementale sont engagées. Toutefois, ces efforts restent encore insuffisants au regard de l'ampleur des changements en cours. Une approche scientifique intégrée et des politiques locales mieux coordonnées sont nécessaires pour protéger durablement la biodiversité et adapter Tlemcen aux effets du changement climatique.

Mots clés : climat, Aridité, Tlemcen (Oranie), Phytoécologie, stress hydrique

Interactions between climate change and biodiversity dynamics in the Tlemcen region

Abstract

The Tlemcen region, located in the northwest of Algeria, this city is characterized by remarkable ecological diversity. Among its sensitive natural areas is the region of Sebâa Chioukh, a rural locality rich in biodiversity, known for its forest landscapes, water resources and varied ecosystems. However, these environments are increasingly threatened by the effects of climate change. Decreasing precipitation, irregular seasons and increasing temperatures directly affect local water resources. Groundwater tables are diminishing, traditional springs are drying up, and periods of drought are becoming more frequent. This water stress also weakens local ecosystems. Several plant and animal species, particularly endemic, are in decline due to habitat loss and lack of water. Agriculture, the region's economic pillar, is also impacted by water scarcity, which increases pressure on natural environments.

Faced with these challenges, reforestation, species protection and environmental awareness initiatives are being undertaken. However, these efforts remain insufficient given the scale of the changes underway. An integrated scientific approach and better-coordinated local policies are necessary to sustainably protect biodiversity and adapt Tlemcen to the effects of climate change.

Keywords: climate, Aridity, Tlemcen (Oranie), Phytoecology, water stress.

¹ Corresponding author: bouayedsarra@gmail.com

INTRODUCTION

La région de Tlemcen, est située à l'extrémité du nord-ouest de l'Algérie, représente une zone de transition écologique et climatique entre les influences sahariennes arides et les influences méditerranéennes plus tempérées. Cette position charnière confère à la région une grande diversité de paysages, de milieux naturels et d'espèces végétales. Toutefois, ces écosystèmes sont aujourd'hui fortement menacés par les effets conjugués du changement climatique et des pressions anthropiques croissantes.

Les conséquences du réchauffement global se manifestent localement par une intensification des sécheresses estivales, des variations extrêmes des températures hivernales, et une altération progressive des régimes pluviométriques. Ces bouleversements climatiques influencent directement les écosystèmes naturels de Tlemcen, affectant la régénération végétale, modifiant la répartition des espèces, et facilitant l'installation de formations végétales dégradées, souvent dominées par des espèces épineuses ou toxiques.

Par ailleurs, la transformation rapide des milieux naturels liée à l'urbanisation, à la déforestation, au surpâturage et à la pression des activités humaines contribue à la fragmentation et à la dégradation des habitats. Dans ce contexte, l'écosystème forestier de Tlemcen, relevant du domaine méditerranéen, connaît depuis plusieurs décennies une régression continue, souvent irréversible.

Face à cette situation, il devient essentiel d'analyser les interactions entre les facteurs climatiques, écologiques et anthropiques afin de mieux comprendre l'évolution actuelle des communautés végétales dans cette région. Cette étude vise à mettre en évidence les effets du changement climatique sur la biodiversité végétale de Tlemcen, en s'appuyant sur les spécificités biogéographiques locales, la dynamique des espèces et les processus d'adaptation des écosystèmes aux nouvelles conditions environnementales.

MATERIELS ET METHODES :

L'étude porte sur la région de Tlemcen qui est située à l'extrême Nord-Ouest Algérien entre 34° et 40' et 2°30' de longitude Ouest, elle s'étend sur une superficie de 9017,69km², limitée géographiquement par :

Au Nord, la mer méditerranée ;

Au Nord Est par la Wilaya de Ain Temouchent ;

A l'Est par la Wilaya de Sidi Belabbes ;

A l'Ouest par le Maroc ;

Au Sud par la Wilaya de Naama

Tlemcen est une zone biogéographique de transition entre les influences sahariennes au sud et les influences méditerranéennes au nord, ce qui lui donne une grande hétérogénéité écologique et climatique. Cette diversité se manifeste à travers une mosaïque de paysages comprenant des zones montagneuses, des plaines agricoles, des formations forestières, et des zones steppiques.

Dans le cadre de cette étude, on a choisi la station de Sebaa Chioukh comme site de référence car cette station est représentative des écosystèmes vulnérables de la région, notamment en raison de la pression climatique et anthropique qu'elle subit. Elle constitue un bon modèle pour évaluer les impacts du changement climatique sur la diversité floristique locale.

La station se distingue par une végétation typique des zones semi-arides, avec des espèces adaptées aux conditions de stress hydrique et de dégradation écologique. Elle présente une forte sensibilité aux variations climatiques saisonnières notamment à l'allongement des périodes de sécheresse et à la baisse des précipitations annuelles. La zone est également soumise à des pressions anthropiques importantes, telles que le surpâturage, la coupe de bois et la conversion des terres.

Des données historiques sur les précipitations annuelles, les températures moyennes et les périodes de sécheresse ont été collectées auprès de l'Office National de la Météorologie (ONM) pour les 20 dernières années.

Ces données ont permis d'évaluer l'évolution des paramètres climatiques dans la région de Tlemcen.

Tableau 01 : Données géographiques de station d'étude

Stations	Latitude	Longitude	Altitude
Sebaa Chioukh	35°06'N	1°24'W	158,3 m



Figure N° 1 : Photos de la station de Sebaa Chioukh (BOUAYED, 2024)

Tableau 02 : Données climatiques de la station de Zenâta située dans la zone d'étude pour l'ancienne période (1913-1938)

Station	Moyennes mensuelles des précipitations et températures	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Zenata (1913-1938)	P (mm)	65	62	49	44	38	11	1	4	23	42	68	67
	T(°C)	9.9	10	10.5	13	15	21	24	26	21.5	17	13	10

(Sources Seltzer, 1946)

Tableau 03: Données climatiques des stations situées dans la zone d'étude pour la nouvelle période (1992-2016)
(Sources O.N.M, 2016)

Station	Moyennes mensuelles des précipitations et températures	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Zenata (1992-2016)	P (mm)	38.24	33.2	29.88	28.6	23.72	4.28	0.84	4	16.24	26.08	41.32	36.76
	T(°C)	11.45	12.06	14.01	16.06	19.32	23.01	26.33	26.93	23.6	20.37	15.49	12.43

Le but de cette analyse bioclimatique, c'est de mettre en relief une étroite comparaison entre l'ancienne et la nouvelle période de la région d'étude mais aussi de préciser l'évolution de la végétation en fonction des gradients climatiques

La synthèse bioclimatique est une étape indispensable à tout projet relatif à l'environnement. Elle conditionne par le biais de ses composantes, le type de climat et du couvert végétal.

Dans le cadre de l'évaluation de l'impact des variables bioclimatiques sur les écosystèmes de la région de Sebâa Chioukh (Tlemcen), une étude floristique a été conduite afin de caractériser la réponse de la végétation aux conditions climatiques locales. La diversité floristique, en tant qu'indicateur écologique, permet de mieux comprendre les dynamiques écosystémiques en lien avec les gradients climatiques.

Afin de cerner l'aspect dynamique de la couverture végétale en place, notre investigation exige une connaissance très précise des facteurs régissant l'installation des peuplements végétaux.

L'analyse de la structure végétale prend en compte la méthode des relevés floristiques qui nous oblige à lister toutes les espèces végétales présentes. Cette liste floristique change d'une station à une autre, d'une année à l'autre dans une même station.

Ce changement est dû en grande partie à la dominance des thérophytes au profit des phanérophytes et des chamaephytes.

On choisit des emplacements aussi typiques que possible et on note des conditions du milieu et la liste des espèces. Les relevés se font à l'aide d'une fiche signalétique complète qui permet de recueillir les données écologiques du site :

- Localisation géographique de la station ;
- Géologie, pédologie, topographie (pente, exposition) ;
- Structure de la communauté végétale (recouvrement, stratification, hauteur, densité) ;
- Situation environnante ;
- Influence humaine et animale (action anthropozoogène) ;
- Variables écologiques descriptives.

Actuellement, la méthode des relevés s'appuie sur la méthode [1] dite Zuricho-montpelliéraine qui consiste à déterminer la plus petite surface appelée « aire minimale » [2] ; [3].

La méthode de l'aire minimale a été établie par [2] puis revue par [3] et [4]. Pour la courbe aire-espèce, on détermine l'air minimal qu'il faudra échantillonner pour avoir une représentativité optimale. Sur le terrain, à l'aide de mètre de cordes, on trace en premier lieu une surface d'un mètre carré pour noter les noms de toutes les espèces qui s'y trouvent et en même temps, on note les caractéristiques de l'endroit de l'échantillonnage ainsi que les indices pour chaque espèce.

RESULTAT ET DISCUSSION :

Dans le cadre de cette étude, les résultats sont présentés selon deux axes complémentaires : d'une part, l'analyse bioclimatique qui permet de caractériser le cadre climatique actuel de la région de Sebâa Chioukh, et d'autre part, l'évaluation de la diversité floristique locale, en tant qu'indicateur de la dynamique des écosystèmes sous l'effet des conditions environnementales.

Ces deux approches permettent d'établir une corrélation entre les paramètres climatiques (précipitations, températures, indice bioclimatique) et la structure de la végétation observée sur le terrain. La discussion qui suit met en lumière les liens entre le climat, la distribution des espèces végétales, et les impacts potentiels du changement climatique sur la biodiversité locale.

Tableau 04 : Régime saisonnier de la station de Zenâta située dans la zone d'étude pour l'ancienne période (1913-1938)

(Sources Seltzer, 1946)

Régime saisonnier				Type
H	P	E	A	
194	131	16	133	HAPE

Tableau 05 : Données climatiques de la station de Zenâta située dans la zone d'étude pour l'ancienne période (1913-1938)

(Sources Seltzer, 1946)

Précipitations annuelles (mm)	474
Température moyenne annuelle (°C)	16,97
Température moyenne du moi le plus chaud (°C)	32,04
Température moyenne du moi le plus froid (°C)	6,7

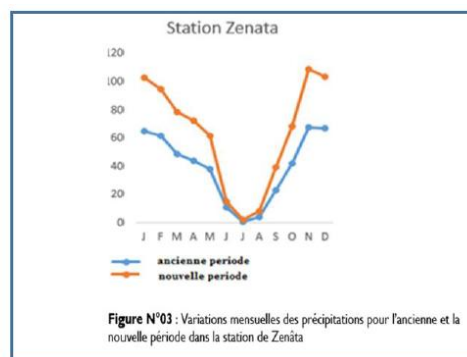
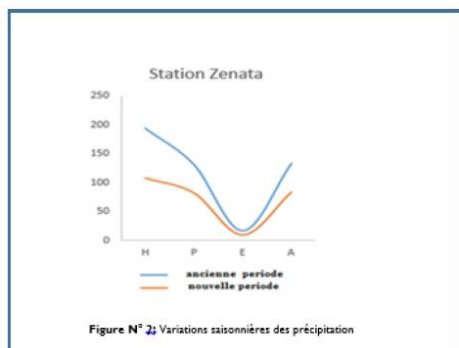
Tableau 06 : Régime saisonnier de la station de Zenâta dans la zone d'étude pour la nouvelle période (1992-2016)

(Sources O.N.M, 2016)

Régime saisonnier				Type
H	P	E	A	
108.2	82.2	9.12	83.64	HAPE

Tableau 07 : Données climatiques de la station de Zenâta dans la zone d'étude pour la nouvelle période (1992-2016)
(Sources O.N.M, 2016)

Précipitations annuelles (mm)	283.16
Température moyenne annuelle (°C)	18.42
Température moyenne du moi le plus chaud (°C)	33.54
Température moyenne du moi le plus froid (°C)	5.97



En ce qui concerne la pluviométrie annuelle et régime saisonnier, nous constatons que pour ;
-L'ancienne période (1913–1938) : la pluviométrie annuelle atteignait « 474 mm », avec un régime saisonnier de type « HAPE » (Hiver > Automne > Printemps > Été). Les précipitations étaient dominées par l'hiver (194 mm) et l'automne (133 mm), avec un minimum estival marqué (16 mm).
-La nouvelle période (1992–2016) est caractérisée par la chute des précipitations à « 283,16 mm » soit une baisse de près de (40 %). Le régime saisonnier reste de type (HAPE), mais avec une accentuation de l'inégalité : l'hiver (108,2 mm) reste dominant, alors que l'été ne reçoit plus que (9,1 mm), confirmant l'aridité estivale méditerranéenne.

Afin de mieux caractériser le climat de la région étudiée, une analyse bioclimatique a été réalisée à partir des données météorologiques de la station de Zenâta sur deux périodes distinctes (1913–1938 et 1992–2016). Cette synthèse sera établie à partir des travaux [5], [6], [7], appliqué sur nos données météorologiques dans le but d'apprécier le climat de la région d'étude. Une combinaison des données pluviométriques et des températures, est très intéressante pour caractériser l'influence du climat de la région. La combinaison de ces paramètres climatiques a permis aux nombreux auteurs, la mise au point de plusieurs indices qui rendent compte du climat et de la végétation existante [8]. La synthèse bioclimatique met en évidence les différentes caractéristiques du climat qui permettent de délimiter les étages de végétation ([9] ; [10]).

• Indice d'aridité de De Martonne

Une combinaison des données pluviométriques et des températures, est très intéressante pour caractériser l'influence du climat de la région

[7] a défini un indice d'aridité utile pour évaluer l'intensité de la sécheresse exprimée par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{(T + 10)}$$

P : précipitation moyenne (mm)

T : température moyenne annuelle (°C)

I : indice d'aridité

Ce dernier permet d'étudier spécialement les rapports du climat avec la végétation forestière et de positionner la station d'étude dans un climat précis [11].

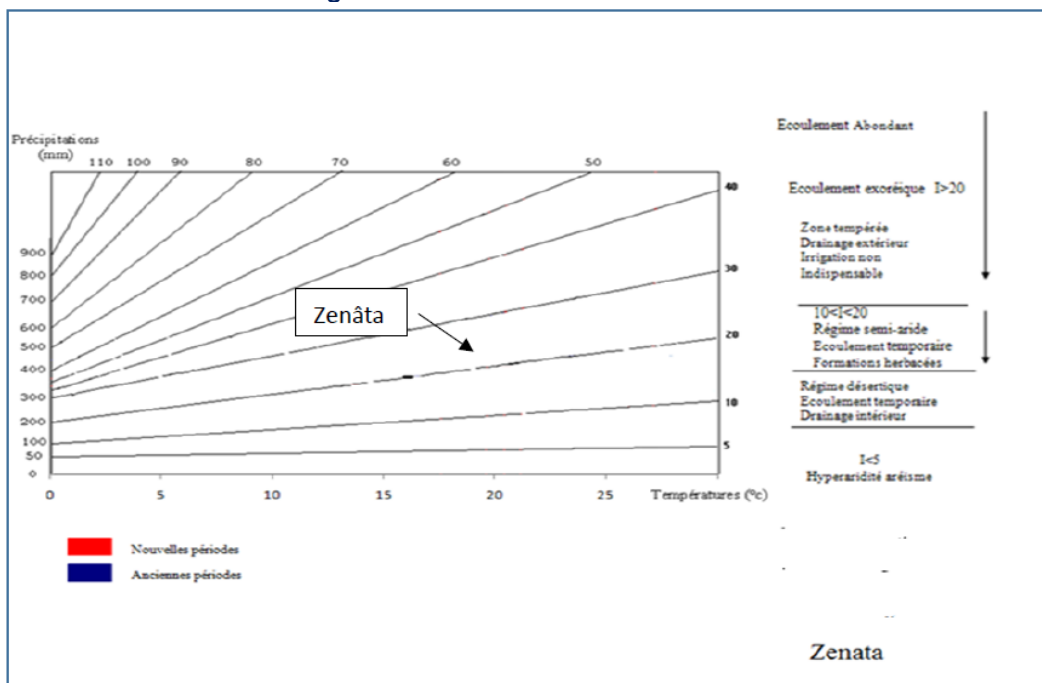
Tableau 08 : Indice d'aridité de De Martonne pour les deux périodes

Stations	Ancienne période (1913-1938)	Nouvelle période (1992-2016)
Zenâta	I= 17.57	I= 10

Tableau 09 : Type de climat en fonction de l'Indice d'aridité de De Martonne pour les deux périodes

Stations	Périodes	I (mm/°C)	Type de climat
Zénata	(1913-1938)	17.57	Semi-aride
	(1992-2016)	10	Semi-aride

Figure N° 4 : Indice d'aridité de De Martonne



Selon les tableaux 08 et 09 ainsi que la figure 4, l'indice d'aridité de De Martonne confirme que la station de Zenâta appartient au type semi-aride pour l'ancienne et la nouvelle période, mais avec une nette tendance à l'aridification. En effet, la valeur de I chute de 17,57 à 10, traduisant un allongement de la période sèche et un climat plus rigoureux. Cette évolution va dans le même sens que l'analyse des précipitations annuelles confirmant la transition progressive vers un semi-aride supérieur.

• **Quotient pluviothermique d'Emberger :**

Pour la détermination des différents étages climatiques qui règne ces dernières années, nous avons eu recours à l'utilisation du quotient pluviothermique d'Emberger. Ce quotient est généralement le plus utilisé dans les régions de l'Afrique du Nord [12]

Ce Quotient permet de localiser les stations d'étude parmi les étages de la végétation tracés sur un climagramme pluviothermique, et permet aussi d'apprécier l'aridité des régions méditerranéennes, les valeurs du Q2 étant d'autant plus basse que le climat est plus sec.

Le quotient Q2 nous permet de localiser les stations d'étude parmi les étages de végétation tracées sur le climagramme d'Emberger, ce qui est un bon indicateur sur la relation qui existe entre le climat et la végétation. A partir de certaines valeurs de (Q2) et (m), la végétation change, elle peut évoluer en même temps que le climat se modifie [13]

L'indice d'Emberger prend en compte les précipitations annuelles P, la moyenne des maxima de température du mois le plus chaud (M°C) et la moyenne des minima de température du mois le plus froid (m°C) [5].

Q2 est calculé par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000P}{(M+m)(M-m)} = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

P : Précipitations moyennes annuelles en mm ;

M : Moyenne des maxima thermiques du mois le plus chaud en °K ;

m : Moyenne des minima thermiques du mois le plus froid en °K ;

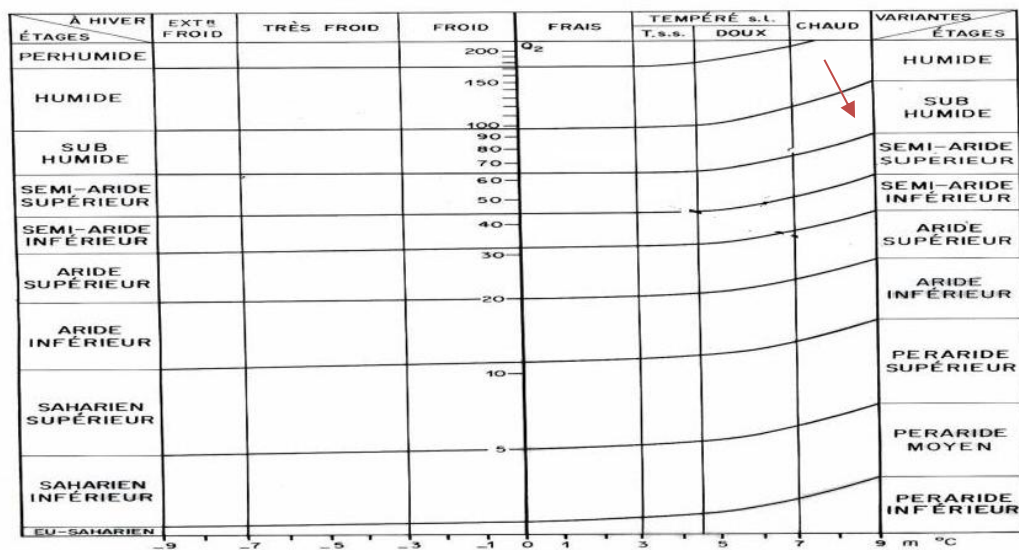
M-m : Amplitude thermique.

M et m : exprimés en degrés absolus (T°k = T°C + 273,2).

Tableau 10 : Etage bioclimatiques de la station Météorologique durant deux périodes en fonction de m et Q2 d'Emberger

Stations	Périodes	m	Q2	Etage bioclimatiques
Zénata	(1913-1938)	6.7	63.97	Etage semi-aride supérieur à hiver tempéré doux
	(1992-2016)	5.12	34.06	Etage semi-aride inférieur à hiver tempéré doux

Figure N°05 : Climagramme pluviothermique du quotient d'Emberger(Q2) dans la station météorologique de Zenâta



Nous remarquons que la diminution de la valeur de Q2 entre deux périodes provoque un décalage des étages bioclimatiques voir même d'un sous étage :

* Durant l'ancienne période (1913–1938), Zenâta présentait un étage subhumide à été sec, avec un quotient pluviothermique de $Q_2 \approx 101$ et des hivers doux.

* En ce qui concerne la nouvelle période (1992–2016), le quotient pluviothermique baisse à $Q_2 \approx 62$, traduisant un passage à un étage semi-aride à hiver doux.

Ce décalage d'étage bioclimatique montre une tendance nette à l'aridification au cours de ces dernières années, caractérisée par une baisse des précipitations annuelles et une élévation des températures moyennes.

Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gausson (1957) :

Selon [14], un mois est dit biologiquement sec si, "le total mensuel des précipitations exprimées en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne, exprimée en degrés centigrades" ; cette formule ($P \leq 2T$) permet de construire des « diagrammes ombrothermiques » traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes.

La définition du mois sec convient pour les formations végétales, pas forcément pour comprendre le débit des cours d'eau ou le besoin en irrigation, mais pour décrire l'environnement des plantes [15].

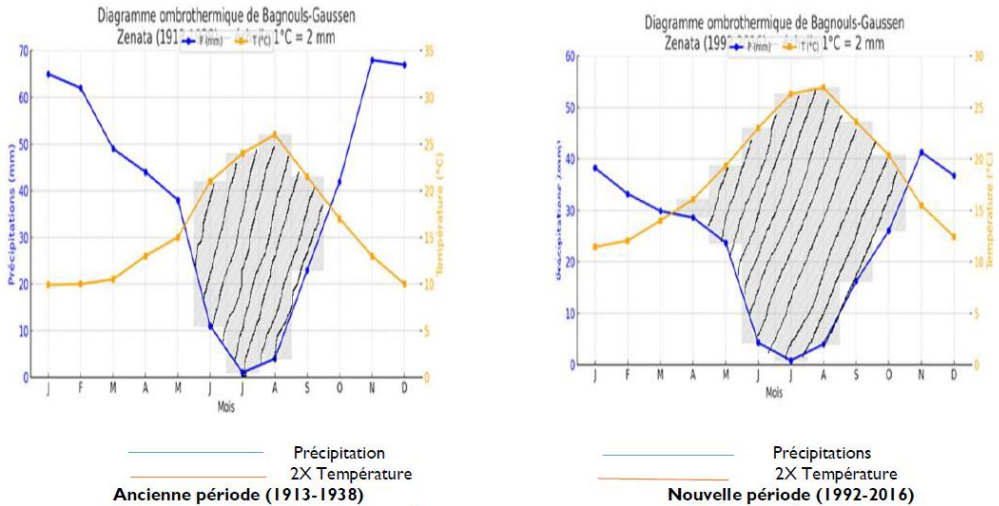


Figure N° 6: Variations mensuelles des précipitations

Selon la figure 06, nous constatons que l'ancienne période (1913-1938) pour la station de Zenâta est caractérisée par deux périodes :

- une saison sèche qui s'étale de Mai à Septembre

* En juillet-août, les précipitations chutent à presque 0 mm , alors que les températures dépassent largement les $20-26 \text{ }^{\circ}\text{C}$ → *sécheresse estivale marquée*.

- une saison arrosée qui s'étale de d'Octobre à Mai, avec des maxima en hiver ($65-70 \text{ mm}$ en nov./déc.).

En ce qui concerne la nouvelle période (1992-2016) pour la station de Zenâta, elle est caractérisée par deux périodes aussi :

- Une saison sèche qui s'étale de Mars à Octobre

* En juillet-août, $P \approx 0 \text{ mm}$ alors que $T > 26-27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ → sécheresse plus longue et plus intense qu'avant.

- une saison humide : raccourcie et moins pluvieuse (pluies d'hiver réduites : $35 \text{ à } 40 \text{ mm/mois}$ seulement en janvier et novembre.)

L'analyse bioclimatique de la station de Zenâta montre une évolution nette du climat au cours du temps. La région est passée d'un régime subhumide à été sec durant la période 1913-1938 à un régime semi-aride à hiver doux entre 1992-2016. Cette tendance à l'aridification, confirmée par les diagrammes climatiques, a des conséquences directes sur la végétation. C'est dans ce contexte que l'étude floristique prend tout son intérêt, car elle permet d'observer comment les espèces végétales réagissent et s'adaptent aux nouvelles conditions climatiques.

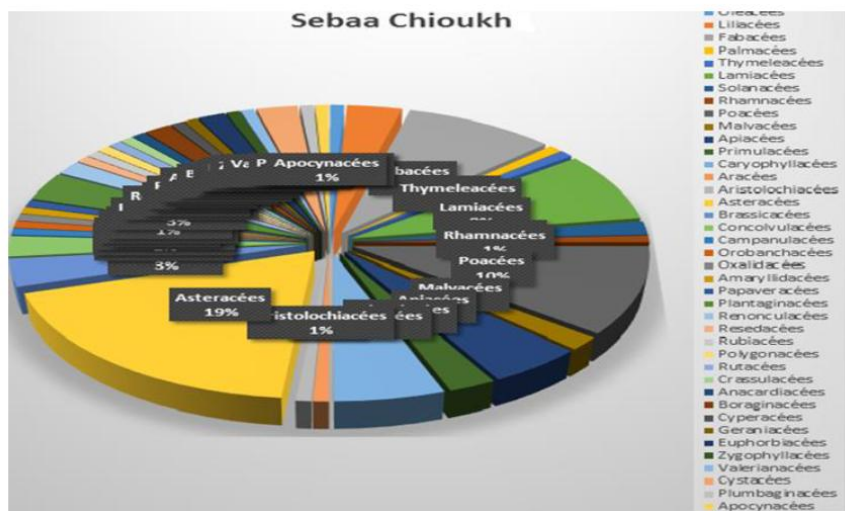


Figure N° 07 : Répartition par familles dans la station de Sebaa Chioukh

Selon la figure 7, le cortège floristique dans la station de Sebaa Chioukh comporte 40 familles avec dominance des Astéracées au nombre de 23 espèces (19%), c'est la famille la plus représentée, connue pour ses espèces héliophiles et xérophiles, bien adaptées aux milieux semi-arides et aux sols pauvres. Suivie de Poacées au nombre de 13 espèces (10%), témoins de l'importance des herbacées dans la végétation locale, adaptées aux milieux secs et aux pressions pastorales. Puis les Fabacées au nombre de 11 (9%), qui ont un rôle écologique important par leur capacité de fixation d'azote, contribuant à l'amélioration des sols dégradés.

Les Lamiacées au nombre de 10 espèces (8%), les Caryophyllacées avec 7 espèces (6%), les Apiacées au nombre de 6 espèces (5%) et enfin les Liliacées, les Plantaginacées et les Brassicacées avec 4 espèces (3%), les autres familles ont peu représentées

Les Lamiacées, Brassicacées, Apiacées, et Caryophyllacées regroupent des espèces aromatiques, médicinales ou pionnières, souvent bien adaptées aux milieux perturbés.

* La dominance des Astéracées et des Poacées confirme une flore xérophile et steppique, adaptée à la sécheresse et aux conditions semi-arides.

* La diversité des familles, même faiblement représentées, témoigne d'une richesse floristique globale et d'une mosaïque écologique variée

Selon [16], il recommande l'utilisation des spectres biologiques en tant qu'indicateurs de la distribution des caractères morphologiques et les caractères physiologiques

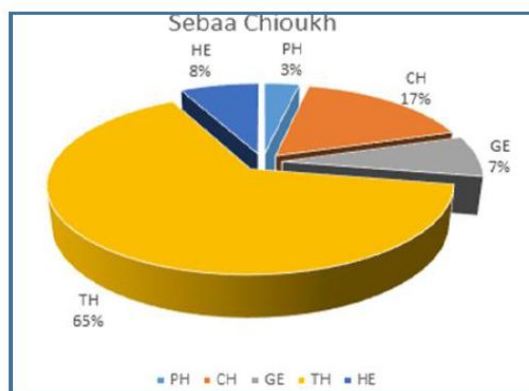


Figure N°08 : Types biologiques du cortège floristique de la station de Sebaa Chioukh

Selon la figure 08, la station de Sebaa Chioukh, est représentée par la dominance des thérophytes qui sont les mieux représentés avec un pourcentage élevé de 65%, Leur forte proportion traduit un milieu sec, instable et soumis à des perturbations (pâturage, sécheresse, actions anthropiques) suivis par les Chamaéphytes 17%, ce sont des plantes vivaces basses, adaptées à la sécheresse par leur port bas et leurs organes de survie proches du sol. Elles reflètent une tendance à la xérophilie (adaptation aux milieux arides).

Les Hémicryptophytes quant à elles avec un pourcentage de 8% ce sont des plantes dont les bourgeons persistent au niveau du sol, témoignant de la présence d'espèces adaptées aux conditions un peu plus tempérées, puis les Géophytes 7%, et enfin les Phanérophytes 3% arbres et arbustes de grande taille, faiblement représentés, ce qui confirme la rareté des formations forestières et traduit une dégradation du couvert ligneux.

En conclusion : Le spectre biologique de Sebaa Chioukh traduit une flore dominée par des espèces annuelles et xérophiles, bien adaptées aux contraintes climatiques (sécheresse, été chaud) et aux pressions anthropiques. Ce résultat est cohérent avec vos analyses bioclimatiques (climagramme d'Emberger et diagrammes ombrothermiques), qui montrent une évolution vers un climat semi-aride

La forme de la plante est l'un des critères de base de classification des espèces en types biologiques, la phytomasse est composée des espèces pérennes, ligneuses ou herbacées et des espèces annuelles [17].

L'état de la physionomie d'une formation végétale peut se définir par la dominance et/ ou l'absence des espèces à différents types morphologiques.

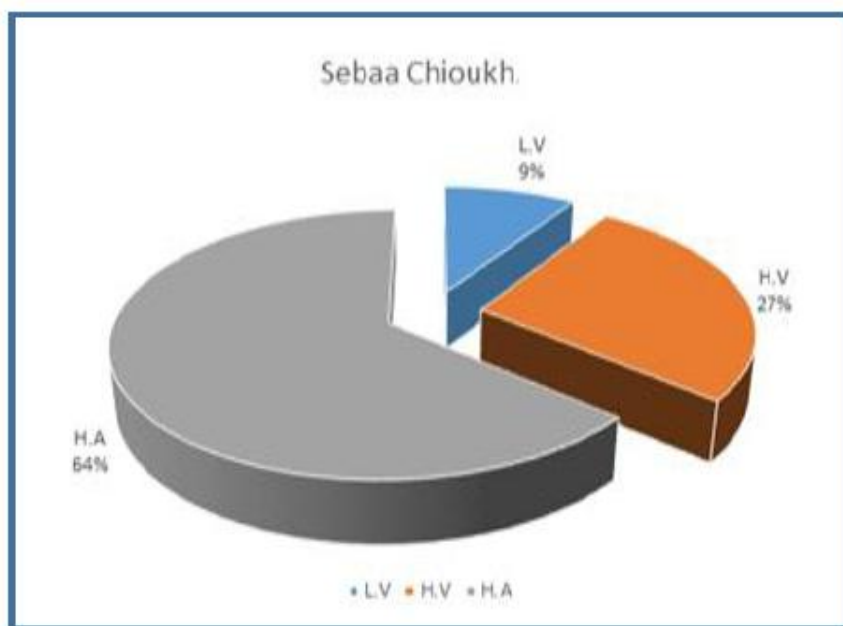


Figure N°09 : Pourcentages des types morphologiques de la station de Sebaa Chioukh

Selon la figure 09, la station de Sebaa Chioukh est dominée par la présence des herbacées annuelles avec un pourcentage de 64% car ces espèces complètent leur cycle rapidement et produisent des graines résistantes, ce qui traduit une forte adaptation aux milieux secs et perturbés. Suivi de 27% d'herbacées vivaces, leur proportion non négligeable montre la présence d'espèces plus résistantes dans le temps, capables de survivre plusieurs saisons grâce à des organes pérennes. Et enfin 09% pour les ligneux vivaces ce qui traduit une régression du couvert arbustif et forestier, souvent remplacé par des formations herbacées.

La végétation de Sebaa Chioukh est largement dominée par des espèces annuelles, adaptées aux contraintes climatiques semi-arides et aux pressions anthropiques. La faible présence des ligneux vivaces traduit une dégradation du couvert végétal au profit d'espèces herbacées

CONCLUSION :

L'étude bioclimatique de la station de « Zenâta » a mis en évidence une évolution marquée du climat, passant d'un régime sub-humide à été sec ($Q_2 \approx 101$) durant la période 1913–1938 à un régime semi-aride ($Q_2 \approx 62$) entre 1992–2016. Cette tendance traduit une aridification progressive du milieu, confirmée par les diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen.

Parallèlement, l'analyse floristique et biologique de la zone de « Sebaa Chioukh » reflète clairement cette dynamique climatique. La flore est dominée par les Astéracées et Poacées, familles typiques des milieux secs. Le spectre biologique montre une nette prédominance des **thérophytes* (65 %), indicateurs de milieux arides et perturbés, tandis que les phanérophytes et les ligneux vivaces sont très faiblement représentés, traduisant une régression du couvert ligneux. Enfin, la répartition des types morphologiques révèle la suprématie des herbacées annuelles (64 %) sur les vivaces, ce qui confirme l'impact de la sécheresse et des pressions anthropiques (pâturage, défrichement).

En somme, la combinaison des résultats bioclimatiques et floristiques met en évidence une corrélation forte entre l'évolution climatique et la composition floristique. Le passage vers un climat semi-aride s'accompagne d'une flore dominée par des espèces annuelles et xérophiles, au détriment des espèces ligneuses pérennes. Cette situation illustre un processus de dégradation et de steppisation du milieu, en lien avec la variabilité climatique et les activités humaines.

Références

- [1] Braun-Blanquet J., 1951 : -Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. C.N.R.S. Paris. 297p.
- [2] Braun-Blanquet, J., 1952 : -Phytosociologie appliquée. Comm. SIGMA, n° 16 Bull.Soc. Bot. Afr. 1 /9 (5 -6) : 315 - 334.
- [3] Gounot M., 1969 : -Méthodes d'étude quantitatives de la végétation. I Vol. Ed. Mars. Paris. p. 314-341
- [4] Braun-Blanquet ;(1952)
- [5] Gounot, (1969)
- [6] Guinochet M., (1973) : -Phytosociologie. Ed. Masson et Cie. Paris pp. 227-228
- [7] Emberger L., 1930 : -A) Une formule climatique applicable en géographie botanique. C. R.A cad.Sc, 1991
- [8] Emberger, 1955 : -Une classification biogéographique des climats. Trav. Lab.Bot. Géol. Serv.Bot. Montpellier, 7. Pp : 3-43.
- [9] Bagnoul et Gaussen., 1955 : -Saison sèche et xérothermique. Doct. Cart. Prod. Vég. Ser. GenII, I, art. VIII, Toulouse, 47p. I carte.
- [10] De Martonne E., 1926 : -Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité. La météo. 449-459.
- [11] Ayache A., 2007 : -Les résineux dans la région de Tlemcen (Aspect écologique et cartographie) thèse Mag.Univ Abou BekrBelkaid Tlemcen. Fac.Sci.Départ. bio .Lab. GES. Ecosys. Nat. pp : 14-223+annexes B) La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. Rev.Geo.Bot.42p.
- [12] Riva Martinez, 1981 : – Les étages bioclimatiques de la péninsule Ibérique.Anal.Gard.Bot.Madrid 37(2). PP : 251-268
- [13] Dahmani M., 1997 : -Le chêne vert en Algérie. Syntaxonomie, phytosociologie et dynamique des peuplements. Thèse Doct. Es sciences. Univ. Houari Boumedienne. Alger, 383p
- [14] Derkaoui, 2005 : -Contribution à une étude écologique du *Tetradlinis articulata* dans les monts des Traras. Mémoire d'ingénieur. Univ.AbouBakrBelkaid Tlemcen. PP : 15-109
- [15] Benabadi N., et Bouazza M., (2000,2001) : -Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *Artémisia herba alba*. Dans l'Oranie (Algérie Occidentale) Revue sécheresse II (2) pp 117-123.
- [16] Alcaraz C., 1969 : -Etude géobotanique du pin d'Alep dans le Tell Oranais. Th Doct. 3eme cycle. Fac. Sc. Montpellier.183 P.
- [17] Bagnoul et Gaussen., 1953 : -Saison sèche et xérothermique. Doct. Cart. Prod. Vég. Ser. GenII, I, art. VIII, Toulouse, 47p. I carte.
- [18] Charre, 1997, « Dessine-moi un climat. Que penser du diagramme ombro-thermique ? », Mappemonde, n° 2, p. 29-31. 2 Reghezza-Zitt
- [19] Rameau J-C., 1987 : - contribution phytoécologique et dynamique à l'étude des écosystèmes forestiers. Applications aux forêts du nord de la France. Université de Besançon thèse d'état
- [20] Kebbas Y., 2016 : - Impact de l'exposition sur la croissance de *Withania frutescens* (solanacées) dans le Nord-ouest algérien, 127-130 p

Incidences des réformes foncières sur la sécurité alimentaire dans la commune de Sèmè-Podji au Sud-est du Bénin

Mègnongon Clément Léopold Babadjihou¹, Toundé Roméo Gislain Kadjegbin² and Franco-Néo Camus Djessonou³

¹ Doctorant, Université d'Abomey-Calavi

² Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales (LEDUR) de l'Université d'Abomey-Calavi 01 BP 526, Cotonou 01)

³ Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eau, Ecosystème et Développement (Université d'Abomey-Calavi 01 BP 526, Cotonou 01)

Résumé

La gestion foncière constitue un moyen fondamental pour assurer la production agricole et la sécurité alimentaire des ménages. La présente recherche étudie les incidences des réformes foncières sur la sécurité alimentaire dans la Commune de Sèmè-Podji. Les données agricoles et socio-anthropologiques ont permis d'analyser les réformes foncières et la sécurité alimentaire. Le traitement des données a été réalisé à l'aide des logiciels SPSS, Excel 2011 et ArcView. Les résultats obtenus révèlent que la superficie d'une terre rurale à acquérir après les réformes foncières est comprise entre deux (02) et mille (1000) hectares. Les arrondissements d'Aboluyèmè (32 %), de Toboué (24 %), Djèrègbé (18 %) bénéficient des projets de mise en valeur des terres agricoles initiés par des privés. Le nombre des Titres Fonciers des exploitants agricoles varie de 456 en 2003 à 3978 en 2020 avec un taux d'accroissement de 772 %. Malgré les réformes foncières, il s'observe un déficit au niveau du bilan alimentaire des cultures par rapport à la norme dans la Commune de Sèmè-Podji. Les arrondissements d'Aboluyèmè, de Toboué, de Sèmè-Podji et d'Ekpè disposent plus de ménages en sécurité alimentaire limitée. L'arrondissement d'Aghlangandan regorge plus des ménages agricoles en insécurité alimentaire modérée et l'arrondissement de Djèrègbé dispose plus des ménages agricoles en insécurité alimentaire

Mots clés : Commune de Sèmè-podji, réformes foncières, sécuritaire alimentaire, incidences

Impact of land reforms on food security in the commune of Sèmè-Podji in southeastern Benin

Abstract

Land management is a fundamental means to ensure agricultural production and household food security. This research studies the impact of land reforms on food security in the Commune of Sèmè-Podji. Agricultural and socio-anthropological data were used to analyze land reforms and food security. Data processing was carried out using SPSS, Excel 2011 and ArcView software. The results obtained reveal that the area of rural land to be acquired after land reforms is between two (02) and one thousand (1000) hectares. The districts of Aboluyèmè (32%), Toboué (24%), Djèrègbé (18%) benefit from agricultural land development projects initiated by private individuals. The number of land titles of farmers varies from 456 in 2003 to 3978 in 2020 with an increase rate of 772%. Despite land reforms, there is a deficit in the food balance of crops compared to the norm in the Commune of Sèmè-Podji. The districts of Aboluyèmè, Toboué, Sèmè-Podji, and Ekpè have more households in borderline food security. The district of Aghlangandan has more agricultural households in moderate food insecurity, and the district of Djèrègbé has more agricultural households in severe food insecurity.

Keywords: Commune of Sèmè-Podji, land reforms, food security, impacts

¹ Corresponding author: francodjessonou@gmail.com

INTRODUCTION

La terre a toujours été reconnue comme une source primordiale de richesse, de statut social et de pouvoir. Elle est la principale source de revenus et d'emplois dans la plupart des pays du monde en développement (70 à 80 % de leurs populations dépend de l'agriculture) et représente une ressource de plus en plus rare en zone urbaine [1]. L'implantation sur une terre et son utilisation constituent un élément central de l'identité des gens et ont aussi de fortes associations spirituelles et culturelles. Ainsi en outre la terre revêt un rôle essentiel aux plans culturel, religieux et juridique [2]. Dans un contexte mondial marqué par les incertitudes liées à la gestion du foncier, de l'évolution du changement climatique, de la crise économique et financière, de la volatilité des prix agricoles et énergétiques, la capacité des pays à assurer leur sécurité alimentaire constitue plus que par le passé un enjeu stratégique prioritaire [3]. La crise alimentaire qui enserrait le monde entier depuis 2007 a aggravé ces causes et facteurs d'insécurité. En même temps, elle représente pour l'Afrique une source d'opportunité pour des solutions à long terme au spectre de la faim par la mise en œuvre de stratégie de croissance tirée par l'agriculture. Environ un milliard de personnes ou un sixième de la population mondiale subsiste avec moins de US\$1 par jour, 162 millions d'entre ayant moins de \$ 0.50 par jour [4].

Le foncier aujourd'hui soulève donc beaucoup d'enjeux comme en témoigne la réémergence de luttes ouvertes et silencieuses pour la terre dans plusieurs parties du monde en développement, du Chiapas au Mexique, au Zimbabwe en Afrique australe [5]. L'accapement des terres et le commerce virtuel des ressources naturelles portent atteinte à la sécurité alimentaire et nutritionnelle, ainsi qu'à l'occupation par de petits exploitants et aux droits aux ressources dans les communautés pauvres et vulnérables [6]. En sécurisant les investissements agricoles, la terre est devenue un bien très lucratif, puisque le risque d'acheter un terrain et de le perdre est maintenant moindre. Cette situation a occasionné une course à la terre et plusieurs situations d'accapement [7]. Les pays d'Afrique de l'Ouest ont, au cours de la dernière décennie, déployé d'intenses activités de réforme de leurs politiques foncières, bénéficiant en cela de l'appui des organisations internationales ou bilatérales [8]. Les systèmes fonciers font l'objet de pressions de plus en plus fortes, liées à une démographie et à une demande de sécurité alimentaire sans cesse croissantes, alors même que la dégradation de l'environnement et le changement climatique réduisent la disponibilité des terres, des pêches et des forêts. Des droits fonciers inadaptés et non sécurisés augmentent la vulnérabilité, la faim et la pauvreté et peuvent conduire à des conflits et à une dégradation de l'environnement lorsque des utilisateurs concurrents se disputent le contrôle de ces ressources [9]. Face à la multiplication des cas d'accapements de terres dans les pays du Sud, l'un des premiers chantiers ouverts par le CSA réformé a concerné la gouvernance foncière. Entre 2009 et 2012, l'ensemble des parties prenantes ont ainsi participé avec la FAO à l'élaboration de Directives volontaires pour la gouvernance responsable de la gestion foncière et des autres ressources naturelles. Ces directives fournissent un cadre que les États peuvent utiliser pour développer leurs politiques, législations, programmes ou activités en vue d'améliorer la gouvernance de la gestion foncière et des ressources naturelles et renforcer ainsi la protection des droits des populations [10]. Au Bénin, depuis 2013, un nouvel arsenal juridique (Code Foncier et Domanial – CFD et ses décrets d'application) aborde la question foncière au Bénin dans sa globalité et crée aussi un nouveau cadre institutionnel avec principalement la mise en place de l'Agence Nationale du Domaine et du Foncier (ANDF). De ce fait, la mise en œuvre du CFD demande un investissement important, à la fois sur les plans institutionnel et opérationnel. Au niveau local, le CFD prévoit également l'opérationnalisation de certains dispositifs et institutions qui diffèrent substantiellement des pratiques anciennes [11]. Dans la Commune de Sèmè-Podji, l'accès à la terre est indispensable à la sécurité alimentaire, en particulier pour les ruraux pauvres. Il a également des incidences majeures du point de vue de la parité hommes-femmes, compte tenu du rôle que jouent les femmes dans les travaux agricoles, des emplois qu'elles occupent dans les activités qui s'y rattachent. L'objectif de la recherche est d'analyser les incidences des réformes foncières sur la sécurité alimentaire dans la commune de Sèmè-Podji.

I. DEMARCHE METHODOLOGIQUE

I.1. Zone d'étude

La commune de Sèmè-Podji est située entre 6°22'30" et 6°27'30" de latitude nord, et entre 2°31'30" et 2°42'0" de longitude est. Elle est limitée au Nord-Ouest par le lac Nokoué, au Nord-Est par la Lagune de Porto-Novo,

au Sud par l'Océan Atlantique, à l'Est par la République Fédérale du Nigeria et à l'Ouest par la commune de Cotonou (figure 1).

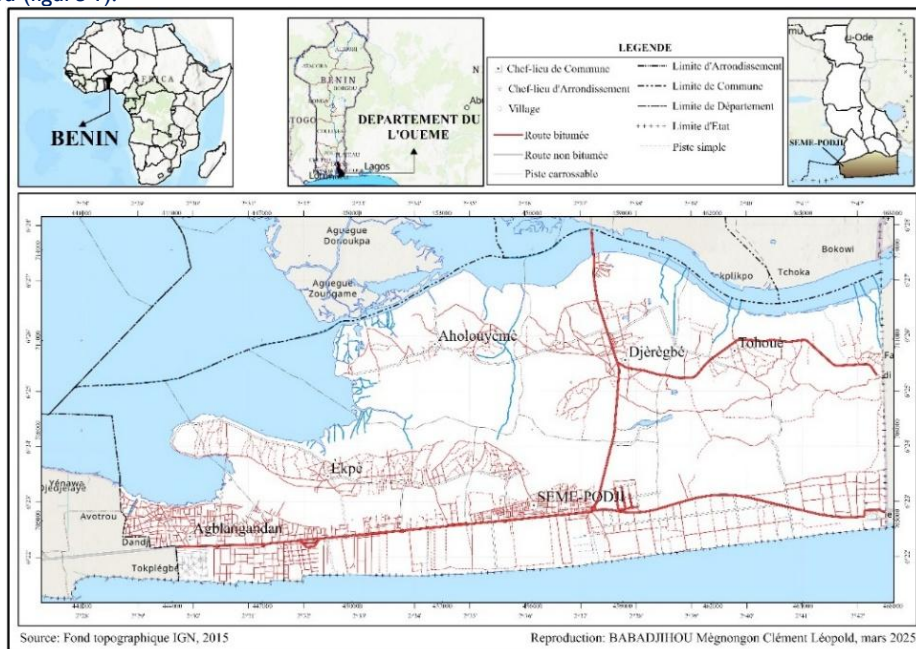


Figure 1: Situations géographique et administrative de la commune de Sèmè-Podji

La commune de Sèmè-Podji a une superficie de 250 km² et compte six (06) Arrondissements à savoir : Agblangandan, Ekpè, Sèmè-Podji, Djèrègbé, Tohoué et Aholouyèmè. Cette position géographique du secteur de recherche, a permis l'installation humaine et le développement des activités foncières.

1.2. Données et approche méthodologique

Plusieurs données ont été utilisées pour analyser les effets des réformes foncières récentes sur la production agricole et la sécurité alimentaire dans la commune de Sèmè-Podji. Il s'agit des : données sur les réformes foncières (les politiques foncières, lois, réglementations, programmes de vulgarisation de ces lois, programmes et projets fonciers et agraires mis en œuvre dans le secteur de la recherche et les solutions apportées), agricoles, et les données sur la sécurité alimentaire. Les données qualitatives obtenues lors des investigations socio-anthropologiques ont permis d'appréhender les perceptions de la population sur l'état de formalisation des transactions foncières et les limites de l'applicabilité des textes de régulation foncière proposés par les réformes, la production agricole et la sécurité alimentaire dans la commune de Sèmè-Podji. La réalisation des graphiques, des cartes et le calcul de certaines valeurs statistiques avec des tests paramétriques sont respectivement faits au moyen des logiciels tels que : Excel 2010 ; SPSS ; ArcView 3.2. Le bilan alimentaire dans la Commune de Sèmè-Podji de 1995 à 2022 été calculé et analysé à partir du modèle d'évaluation et de prévision alimentaire utilisé par l'ONASA et qui est développé par le Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS). Le revenu du ménage et le score de consommation alimentaire (SCA) ont été utilisés pour mesurer la diversité alimentaire tandis que l'indice de l'échelle de la faim au niveau des ménages (HHS), l'indice des stratégies de survie et l'indice simplifié des stratégies de survie ont été employés pour mesurer les habitudes ou comportements alimentaires [12]. Cette recherche utilise trois indices pour évaluer la sécurité alimentaire à l'échelle des ménages. Il s'agit du score de consommation alimentaire (SCA), de l'indice de stratégie de survie (ISS) et l'indice de sécurité alimentaire CARI du [13].

L'ensemble de ces travaux réalisés a permis d'obtenir les résultats suivants.

2. RESULTATS

2.1. Réforme de la législation foncière

2.1.1. Cadre réglementaire de la réforme

Les autorités étatiques béninoises se sont engagées à affronter le dysfonctionnement du système existant d'administration foncière et à répondre à la demande élevée d'une certaine forme de formalisation des droits de propriété en milieu urbain et dans certains milieux ruraux. Cet engagement politique à procéder à la réforme est clairement illustré par un certain nombre d'actions récentes par le Gouvernement, dont l'adoption d'un code foncier de réforme juridique et politique, qui a inclus l'adoption d'une nouvelle politique foncière en 2013. En effet, le Code Foncier et Domanial du Bénin, voté par la loi n° 2013-01 du 14 janvier 2013 (promulguée le 14 août 2013), est une réforme majeure visant à sécuriser les droits fonciers et à moderniser la gestion des terres au Bénin. Il a été complété et modifié par la loi n° 2017-15 du 26 mai 2017. Cette loi a pour objet de déterminer les règles et les principes fondamentaux applicables en matière foncière et domaniale et de régir l'organisation et le fonctionnement du régime foncier et domaniale en République du Bénin. Elle a apporté des ajustements et des précisions au code de 2013, notamment en renforçant la portée exclusive du Titre Foncier comme preuve de propriété (Article 112 nouveau) et en clarifiant certaines procédures, notamment l'indemnisation via le Fonds de Dédommagement Foncier. Les efforts sont en cours pour informatiser et moderniser l'administration foncière et domaniale, afin de rendre les procédures plus efficaces et transparentes. Cela inclut le recensement des terrains et constructions pour une meilleure fiscalité locale.

2.1.2. Acteurs de la mise en œuvre du code

Dans le cadre de la mise en œuvre des politiques de développement et pour cause d'utilité publique, l'Etat et les collectivités territoriales, moyennant juste et préalable dédommagement, ont le droit d'exproprier tout titulaire de droit foncier. Il est observé la mise en place d'un cadre institutionnel unifié, cohérent, efficient et crédible. Il s'agit de l'Agence Nationale du Domaine et du Foncier (ANDF) guichet unique du foncier ; le Conseil Consultatif Foncier (CCF) ; les Commissions de Gestion Foncière (CoGeF) ; les Sections Urbaines/Villageoises de Gestion Foncière et le Fonds de Dédommagement Foncier (FDF). L'Agence Nationale du Domaine et du Foncier (ANDF) est investie d'une mission de sécurisation et de coordination de la gestion foncière et domaniale au plan national. Elle est aussi chargée de la mise en œuvre des politiques, stratégies et programmes de l'Etat en matière foncière et domaniale. L'ANDF dispose au niveau local des démembrements appelés : Bureaux communaux du domaine et du foncier. Il n'y a plus la possibilité de délégation de compétence au profit des Collectivités territoriales. Les superficies susceptibles d'acquisition sont définies avec une procédure précise. La superficie maximale à acquérir est fixée à 1000 hectares. La photo 1 montre le bureau départemental de l'ANDF à Porto-Novo.



Photo 1: Vue partielle de l'entrée du bureau départemental de l'ANDF à Porto-Novo
Prise de vue : Babadjihou, janvier 2025

La photo 1 illustre le bureau départemental de l'ANDF à Porto-Novo. Le rôle du bureau est de mettre en œuvre la politique foncière au niveau communal et de délivrer le certificat de propriété foncière et l'attestation de détention coutumière et de gérer le cadastre local.

2.1.3. Innovations dans le code

La nouvelle loi combat les pratiques mafieuses en zone rurale et urbaine et lutte contre l'escroquerie foncière, les conflits de limites, les conflits liés à la contestation des droits de propriété ou aux partages successoraux mais aussi les conflits fonciers entre agriculteurs et éleveurs. Parmi les grandes avancées juridiques, il faut noter que seules les personnes ayant la nationalité béninoise peuvent aujourd'hui acheter des terres au Bénin, à condition que la vente ne dépasse pas les 800 hectares de terrain, et dans une perspective d'usage direct d'exploitation de cette terre. Le tableau 1 présente les seuils d'acquisition et les niveaux d'approbation des projets de mise en valeur.

Tableau 1: Seuils d'acquisition et les niveaux d'approbation des projets de mise en valeur

Superficie	Avis sur le projet de mise en valeur	Approbation
] 0 - 2ha]	-	-
] 2ha - 20ha]	CoGeF	Conseil Communal ou Municipal
] 20ha - 100ha]	Conseil Communal ou Municipal	ANDF
] 100ha - 500ha]	Conseil Communal ou Municipal puis ANDF	Ministre en charge du Foncier
] 500ha - 1000 ha]	Conseil Communal ou Municipal puis ANDF puis Ministre en charge du Foncier	Conseil des Ministres

Source : ANDF, 2025

Source : ANDF, 2025

Il ressort du tableau 1 que la superficie d'une terre rurale à acquérir est comprise entre deux (02) et mille (1000) hectares. L'acquisition d'une terre rurale de superficie deux (02) et vingt (20) hectares est conditionnée par l'approbation préalable du conseil communal ou municipal, d'un projet de mise en valeur à des fins agricoles, halieutiques, pastorales, forestières, sociales, industrielles, artisanales ou de préservation de l'environnement. Au-delà de vingt (20) hectares et jusqu'à cent (100) hectares, le projet de mise en valeur est approuvé par l'Agence Nationale du Domaine et du Foncier (ANDF) après avis du conseil communal ou municipal. Le code prévoit des dispositions pour sanctionner la non-mise en valeur des terres rurales, permettant leur attribution à d'autres personnes physiques ou morales qui en font la demande. Cela vise à stimuler la production agricole et la sécurité alimentaire.

2.2. Projets de mise en valeur des terres agricoles par arrondissement dans la commune de Sèmè-Podji

La figure 2 présente le taux des projets de mise en valeur des terres agricoles dans la commune de Sèmè-Podji.

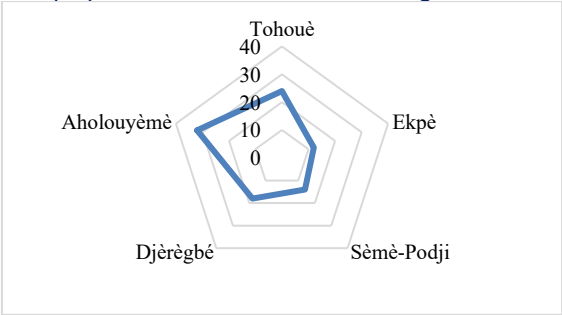


Figure 2 : Hiérarchisation des projets de mise en valeur des terres agricoles par arrondissement dans la commune de Sèmè-Podji Source : Mairie de Sèmè-Podji, mai 2025

L'examen de la figure 2 montre que les arrondissements d'Aholouyè (32 %), de Tohoué (24 %), Djèrègbé (18 %), Ekpè (14 %) et de Sèmè-Podji (12 %) bénéficient des projets de mise en valeur des terres agricoles initiés par des privés. Ces projets sont élaborés dans le dossier d'obtention du Certificat de Propriété foncière. De même, ces demandes favorisent l'insertion des jeunes dans l'agriculture. Pour une superficie supérieure à cent (100) hectares et inférieure ou égale à cinq cents (500) hectares, la demande d'acquisition de terre n'est recevable que dans les conditions suivantes :

- le projet est approuvé par le conseil communal ou municipal ;
- le projet a reçu l'avis favorable de l'Agence Nationale du Domaine et du Foncier ;
- le projet a reçu l'approbation du ministre en charge du foncier.

Au-delà de cinq cents (500) hectares, le projet de mise en valeur est approuvé par un décret pris en Conseil des ministres. Dans tous les cas, aucune acquisition de terre ne peut excéder une superficie de mille (1 000) hectares.

2.3. Digitalisation des droits fonciers par l'ANDF

L'Etat a procédé à la mise en place du cadastre. C'est une documentation officielle, cartographique et littérale, donnant une information sur l'occupation humaine des sols et ses limites. Il désigne également l'administration en charge d'établir et mettre à jour ces documents. Le cadastre assure la gestion de l'ensemble des documents administratifs et techniques décrivant la propriété foncière. C'est un système unitaire informatisé des archives techniques, fiscales et juridiques de toutes les terres du territoire national. Le nouveau code donne une place au numérique. L'ANDF a opté pour une approche purement technologique. Les techniciens se basent sur la technologie des Système d'informations géographique (SIG) et du système global de positionnement (GPS). Le SIG est une nouvelle approche dans le système de gestion foncière. En effet, tout plan cadastral doit être fait sur support informatique. Tout demandeur public ou privé peut accéder aux données en direct ou en ligne. Le code a une portée juridique à l'archivage numérique. Pour l'application du code, l'ANDF a mis en place un site web moderne avec des modules innovants de suivi des dossiers. La plateforme procède au recensement et la sécurisation des domaines privés de l'Etat et la numérisation des TF existants (87% des personnes interrogées).

2.4. Mise en place du cadastre dans la commune de Sèmè-Podji

La commune de Sèmè-Podji a lancé une vaste opération d'enregistrement des parcelles dans la base de données nationale, sous l'égide du Projet de Préparation de la Mise à l'Échelle du Cadastre national (PPMEC). Cette initiative vise à renforcer la sécurité foncière et à stimuler les investissements. Dès 2019, la commune de Sèmè-Podji avait initié un partenariat avec ASToN pour la numérisation du foncier. Les acquéreurs et autochtones affluent pour se faire enregistrer dans la base des données. Selon 73 % des propriétaires terriens interviewés, ce système permet de moderniser le marché immobilier. Le système e-Foncier est déployé dans la commune de Sèmè-Podji et a permis d'enregistrer 3 000 parcelles. Ce système vise à automatiser les processus de traitement, de contrôle et d'enregistrement des informations foncières pour une gestion plus rapide, sécurisée et transparente. La commune de Sèmè-Podji a lancé une opération d'identification et de sécurisation de ses réserves administratives (terrains communaux et de l'État), avec un travail de cartographie confié à un cabinet de géomètres. Cela est crucial pour une meilleure gestion du patrimoine foncier public.

2.5. Immatriculation des parcelles dans la Commune de Sèmè-Podji

Le premier dispositif d'enregistrement des propriétés présumées dans la commune de Sèmè-Podji est l'affirmation des conventions de vente. La figure 3 présente l'évolution des Titres Fonciers des exploitants agricoles enregistrés dans la commune de Sèmè-Podji.

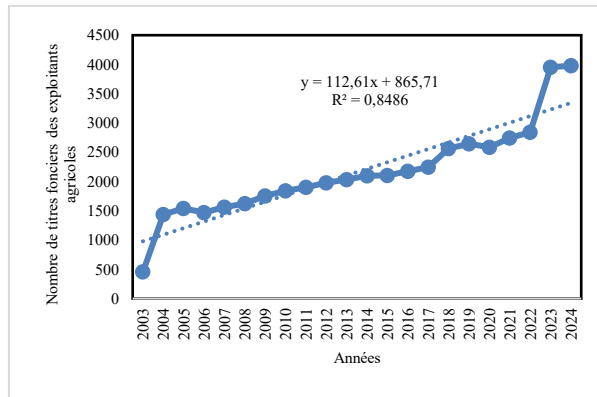


Figure 3: Evolution des Titres Fonciers des exploitants agricoles enregistrés dans la commune de Sèmè-Podji entre 2003 et 2024

Source : Enquêtes de terrain, mai 2025

L'analyse de la figure 3 montre que le nombre des Titres Fonciers des exploitants agricoles varie de 456 en 2003 à 3978 en 2020 avec un taux d'accroissement de 772 %. Ainsi, l'enregistrement des Titres Fonciers a connu une progression. Le titre foncier confère à son titulaire l'ensemble des prérogatives juridiques de la propriété, y compris le pouvoir de disposition. Le titre foncier est le seul document juridique conférant la pleine propriété privée d'un fonds de terre. La figure 4 présente la cartographie des parcelles immatriculées dans la commune de Sèmè-Podji.

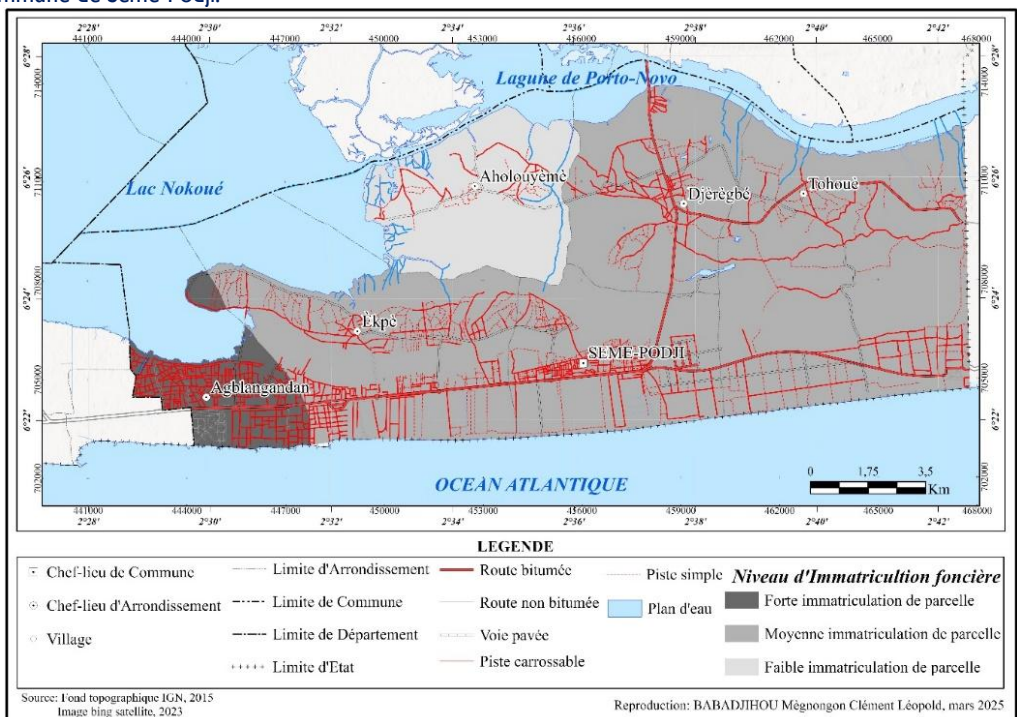


Figure 4: Spatialisation des parcelles immatriculées dans la Commune d'Abomey-Calavi

Il ressort de la figure 4 que 67 % des Arrondissements de la commune de Sèmè-Podji ont des parcelles moyennement immatriculées (Tohoué, Sèmè-Podji, Djèrègbé et Ekpè), 16 % ont une forte immatriculation et 17 % ont des parcelles faiblement immatriculées (Aholouyèmè). L'immatriculation est la seule forme de propriété privée. C'est une procédure administrative qui crée le droit. Ainsi, le titre foncier est celui issu de l'immatriculation foncière et correspond donc à un droit de propriété privée individuelle.

2.6. Evolution de la production

La figure 5 présente l'évolution de la production pour les cinq (5) principales cultures de 1995 à 2021 dans la commune de Sèmè-Podji.

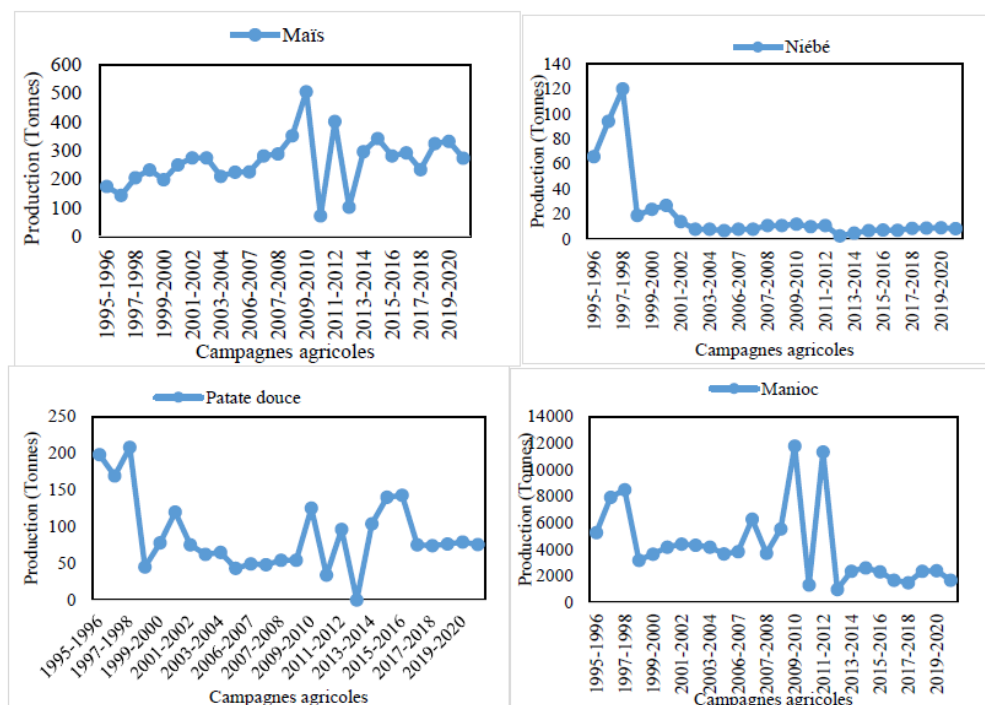


Figure 5I: Evolution de la production des cultures de 1995 à 2021

Source : Statistique agricole MAEP, 2025

L'examen de la figure 5 montre que la production du manioc a connu une baisse dans la commune de Sèmè-Podji au cours de la période de 1995 à 2021 avec une diminution considérable entre 2012 et 2021. Les productions du maïs et du manioc ont subi des variations entre 1995 à 2021 avant qu'on observe une diminution de la production du maïs en 2010 dans la commune de Sèmè-Podji de 2011 en 2021. La production du nièbé a subi des variations dans la production avant de subir une chute entre 2001 et 2021. Une offre réduite face à une demande croissante (due à l'augmentation de la population) entraîne inévitablement une hausse des prix des produits alimentaires de base. Cela affecte directement le pouvoir d'achat des ménages, en particulier les plus vulnérables, qui consacrent une part importante de leurs revenus à l'alimentation.

2.7. Tendances des besoins alimentaires

Le bilan alimentaire a permis d'analyser la tendance de la consommation alimentaire dans la commune de Sèmè-Podji. La tendance des besoins alimentaires regroupe la disponibilité du maïs, du manioc, de la patate douce et du nièbé. La figure 6 présente la disponibilité des cultures autour de la norme dans la commune de Sèmè-Podji.

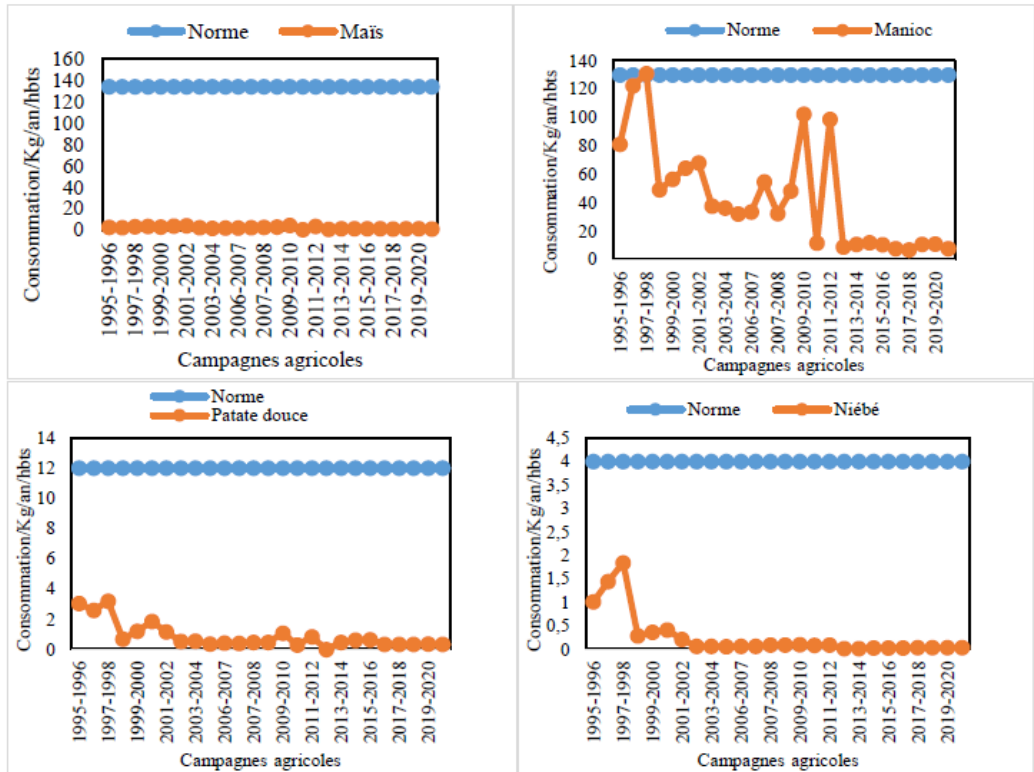


Figure 6: Distribution de la disponibilité des cultures autour de la norme

Source : Résultat des traitements des données, 2025

L'analyse de la figure 6 montre un déficit au niveau du bilan alimentaire des cultures par rapport à la norme dans la Commune de Sèmè-Podji. Ce déficit est dû à la faible production agricole, aux fluctuations des prix des produits alimentaires et aux difficultés d'approvisionnement. L'insuffisance au niveau du bilan alimentaire des cultures a un effet direct sur la sécurité alimentaire de la population dans la commune de Sèmè-Podji. L'insuffisance des moyens financiers et les difficultés d'accès au crédit limitent la capacité des agriculteurs à investir dans l'amélioration de leurs pratiques agricoles. Une organisation insuffisante des producteurs peut entraîner des difficultés dans la commercialisation des produits, la négociation des prix et l'accès aux intrants. La production locale étant insuffisante, la commune de Sèmè-Podji devient fortement dépendante des approvisionnements extérieurs (autres communes rurales, marchés nationaux et internationaux). La photo 2 montre un magasin de stockage des sacs de maïs importés à Sèmè-Gare.



Photo 2 : Vue partielle des sacs de maïs dans un magasin à Sèmè-Gare
Prise de vue : **Babadjihou, mars 2025**

La photo 2 illustre des sacs de maïs stockés dans un magasin à Sèmè-Gare. Cette stratégie permet de disposer des produits de base sur le marché local. Selon 43 % des personnes retenues pour l'enquête, la concurrence des produits agricoles importés des autres communes rendre les prix de vente des produits locaux moins incitatifs, ce qui décourage la production.

2.8. Analyse de la sécurité alimentaire au sein des ménages agricoles dans la commune de Sèmè-Podji

La sécurité alimentaire au sein des ménages agricoles a été analysée à partir de la classe de consommation alimentaire des ménages, des stratégies de survie pratiquée par les ménages agricoles et à partir de l'approche CARI. La figure 7 présente la classe de consommation alimentaire des ménages agricoles dans la commune de Sèmè-Podji.

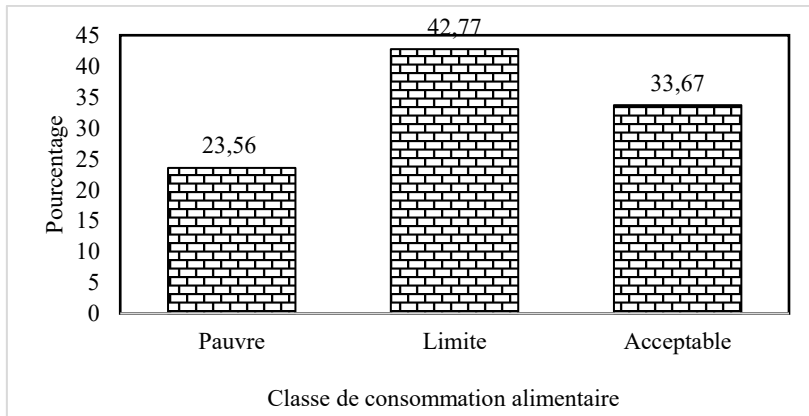


Figure 7: Classe de consommation alimentaire des ménages agricoles dans la commune de Sèmè-Podji
Source : Résultats des calculs des données d'enquêtes, janvier 2025

L'analyse de la figure 7 montre que 23,56 % des ménages agricoles retenus pour l'enquête ont une consommation alimentaire pauvre, 42,77 % ont une consommation alimentaire limite et 33,67 % ont une consommation alimentaire acceptable. Les besoins nutritionnels modifient en fonction des sexes pour des raisons des différences physiologiques. La figure 8 présente les stratégies d'épuisement des avoirs des ménages agricoles.

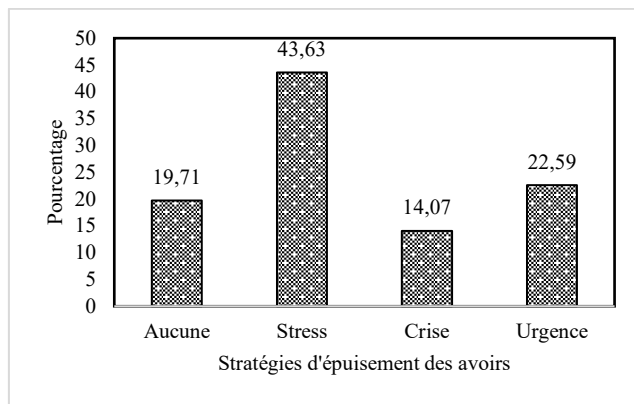


Figure 8: Stratégies d'épuisement des avoirs dans la commune de Sèmè-Podji

Source : Résultats des calculs des données d'enquêtes, janvier 2025

L'examen de la figure 8 montre que 43,63 % des ménages agricoles utilisent les stratégies de stress, 14,07 % font recours aux stratégies de crise et 22,59 % pratiquent les stratégies d'urgence. Par contre, 19,71 % n'adoptent aucune stratégie. Ces ménages agricoles ne sont donc exposés à l'insécurité alimentaire. Ainsi, ces ménages sont à l'abri du déficit d'aliments à cause des activités connexes (commerce, artisanat). La figure 9 présente la distribution de l'indice de sécurité alimentaire dans la commune de Sèmè-Podji.

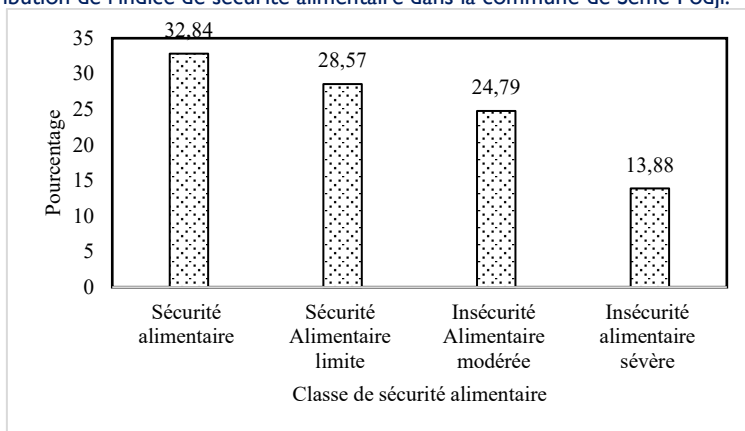


Figure 9: Classe de sécurité alimentaire **Source :** Résultats des calculs des données d'enquêtes, janvier 2025

L'analyse de la figure 9 montre que 32,84 % sont en sécurité alimentaire (absolue), 28,57 % sont en sécurité alimentaire limite, 24,79 % en insécurité alimentaire modérée et 13,88 % en insécurité alimentaire sévère. L'insécurité alimentaire entraîne une malnutrition chronique chez les populations. Les chefs de ménages agricoles responsables de l'alimentation doivent redoubler d'efforts en réduisant leurs propres portions ou en adoptant des stratégies de survie difficiles. Les ménages en sécurité alimentaire sont des ménages agricoles capables de satisfaire leurs besoins alimentaires sans recourir aux stratégies d'adaptation qui sont les stratégies dites de stress, de crise ou d'urgence. Les ménages en sécurité alimentaire limite n'arrivent pas à assurer leurs dépenses sociales (santé et éducation). Les ménages en insécurité alimentaire sévère ont non seulement une consommation déficiente, mais ont épuisé leur avoir et ils se retrouvent dans une situation alimentaire pénible. La figure 10 présente le statut alimentaire des ménages agricoles par arrondissement dans la commune de Sèmè-Podji.

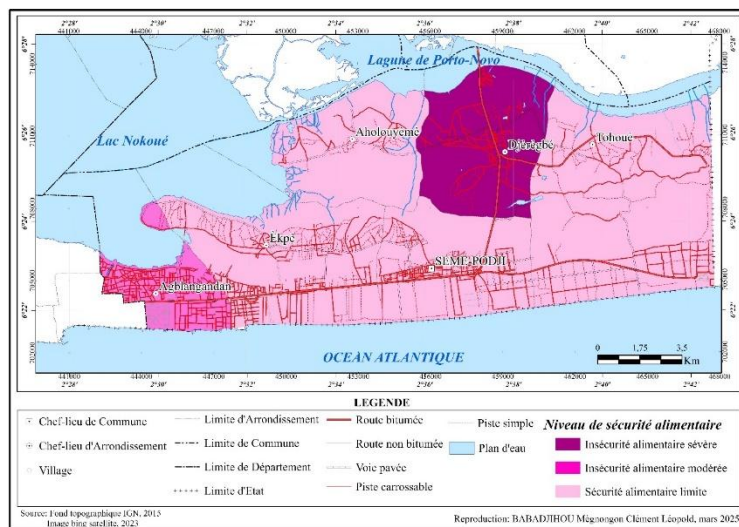


Figure 10: Statut alimentaire des ménages agricoles par arrondissement dans la commune de Sèmè-Podji

L'examen de la figure 10 montre que les arrondissements d'Aholouyèmè, de Tohoué, de Sèmè-Podji et d'Ekpe disposent plus de ménages en sécurité alimentaire limite. L'arrondissement d'Agblangandan regorge plus des ménages agricoles en insécurité alimentaire modérée et l'arrondissement de Djèrègbé dispose plus des ménages agricoles en insécurité alimentaire sévère. Ainsi, la distribution des ménages agricoles selon leur classe de sécurité alimentaire observée dans la commune de Sèmè-Podji n'est pas semblable au niveau des arrondissements.

3. DISCUSSION

La disponibilité du manioc est supérieure à la norme de 130 Kg par habitant et par an seulement en 1997-1998. La consommation est en dents de scie, avec une chute drastique en 2010-2011 et une reprise exponentielle en 2011-2012, avec une nouvelle chute moins prononcée en 2013-2013. La commune de Sèmè-Podji connaît un mauvais bilan alimentaire en maïs de 1995 à 2021. Ainsi, il y a une difficulté à satisfaire les besoins alimentaires des populations à partir de la production locale. Les ménages ayant une consommation alimentaire pauvre sont plus vulnérables que les ménages ayant une consommation alimentaire limite. Les ménages ayant un niveau de consommation acceptable sont encore moins vulnérables car ces ménages utilisent des stratégies de survies moins sévères. Ces résultats sont semblables à ceux de [14], [9] et [15] qui constatent que les fluctuations de la production agricole et de l'accès à la nourriture peuvent être à l'origine de troubles sociaux. Ces bouleversements risquent, à leur tour, d'affecter la stabilité de la disponibilité et de l'accessibilité des denrées alimentaires. Les systèmes alimentaires sont particulièrement sensibles à la volatilité des prix, une des principales causes de l'instabilité de l'offre et de l'accessibilité des produits alimentaires. Selon [16], les disponibilités alimentaires découlent de la production nationale et des échanges internationaux (exportations, importations et aide alimentaire). L'accessibilité concerne l'aptitude des ménages à accéder à la nourriture, leur pouvoir d'achat.

CONCLUSION

Au terme de cette recherche, il faut noter que l'Etat a lancé un processus de réforme de la législation foncière nationale. Dans la commune de Sèmè-Podji, l'opération d'immatriculation d'ensemble a favorisé l'accès du plus grand nombre à la sécurisation et à la propriété foncière. L'insuffisance au niveau des bilans alimentaires a un effet direct sur la sécurité alimentaire de la population dans la commune de Sèmè-Podji. L'insécurité alimentaire entraîne une malnutrition chronique chez les populations.

Références

- [1] Alessandra KIRSCH, Politique agricole commune, aides directes à l'agriculture et environnement : Analyse en France, en Allemagne et au Royaume-Uni. Thèse de doctorat en Sciences Economiques, l'Université de Bourgogne-Franche-Comté, (2017), 325 p.
- [2] Patrick KORMAWA, Geoffrey MREMA, Nomathemba MHLANGA, Mark Kofi FYNN, Josef KIENZLE et Joseph MPAGALILE, La mécanisation agricole durable : cadre stratégique pour l'Afrique. Addis-Abeba, CC BY-NC-SA 3.0 IGO, (2019), 152 p.
- [3] CEA, La sécurité alimentaire en Afrique du Nord : Analyse de situation et réactions des Etats face à l'instabilité des marchés agricoles. Rabat, Maroc, (2012), 54 p.
- [4] CES, L'État de la Sécurité Alimentaire en Afrique. Rapport, Addis-Abeba (Éthiopie), (2009), 38 p.
- [5] Ahmadou Coumba NDIAYE, La problématique de l'accès aux ressources foncières des populations de la zone du lac de Guiers. Cas de la communauté rurale de MBane. Mémoire de fin d'étude en administration publique, Ecole Nationale d'Economie Appliquée, Sénégal, (2005), 127 p.
- [6] CNULCD, Sécurité alimentaire et agriculture. Rapport d'étude, (2015), 36 p.
- [7] Thomas DESHAIES, L'accaparement des terres et ses impacts sur la sécurité alimentaire et foncière: évaluation des mécanismes de prévention et de résolution de conflits fonciers dans la région des hauts-bassins au Burkina Faso. Mémoire de maîtrise en sciences politiques, Université du Québec à Montréal, (2016), 140 p.
- [8] Hubert M. G. OUEDRAOGO, Etude comparative de la mise en œuvre des plans fonciers ruraux en Afrique de l'ouest : Bénin, Burkina Faso, Cote d'Ivoire. FAO GTZ, (2005), 41 p.
- [9] CSA, Cadre stratégique mondial pour la sécurité alimentaire et la nutrition. Rapport, (2013), 68 p.
- [10] C2A, Les Notes de la C2A Quelles règles pour encadrer les investissements dans l'agriculture ? Numéro 22, Rome, (2014), 4 p.
- [11] VNG International, Projet d'appui à la gestion Foncière Locale au Bénin : Résultats de l'expérimentation du CFD dans les Communes de Dogbo et Klouékanmè, (2018), 54 p.
- [12] Malick NDIAYE, Indicateurs de la sécurité alimentaire. Dakar : Programme Alimentaire Mondial, (2014), 27 p.
- [13] PAM, Approche consolidée du PAM pour le compte-rendu des indicateurs de la sécurité alimentaire (CARI). Rome : programme alimentaire mondial, (2014), 56 p.
- [14] Evariste CONSIMBO, L'agrobusiness : la clé de la convergence du taux de pression fiscale du Burkina-Faso vers la norme communautaire. Mémoire de droit fiscal, ENAREF, France, (2012), 75 p.
- [15] RNDH, Agriculture, sécurité alimentaire et développement humain au Bénin. Rapport, (2015), 144 p.
- [16] Rokhaya DIAGNE, Sécurité alimentaire et libéralisation agricole. Economies et finances. Thèse de Doctorat ès Sciences Économiques, Université Nice Sophia Antipolis, (2013), 324 p.

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

Amor Boughdiri¹, Gouider Tibaoui², Samia Zaidi³

1,2,3 Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, Route de Tabarka 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

Effect of water stress on agro-physiological parameters in berseem and ryegrass in a context of climate change

Abstract

This study aims to investigate the influence of salt stress on two forage species: berseem and ryegrass. Under cover, five different treatments (0 g/L, 2 g/L, 4 g/L, 6 g/L, and 10 g/L) were applied to both species to evaluate their agrophysiological behavior under salt stress conditions. This approach aims to analyze plant responses to various salt stress levels with respect to several agrophysiological parameters, such as yield and dry matter content, relative water content, and chlorophyll content. The results obtained show that up to 10 g/L, the two species maintain 88% of their salt content in berseem and 70% in stressed ryegrass, respectively, compared to the control. After 65 days of stress and at 10 g/l, the species 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 area, 57% and 42% of dry matter yield.

Keywords: salt stress, berseem clover, 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

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

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.

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)

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

Différents paramètres mesurés

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

Méthodes de mesure

a-Teneur relative en eau TRE (%)

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

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

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 DISSCUSSION

I. Effet du stress hydrique sur les paramètres agro-physiologiques

I. La 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.

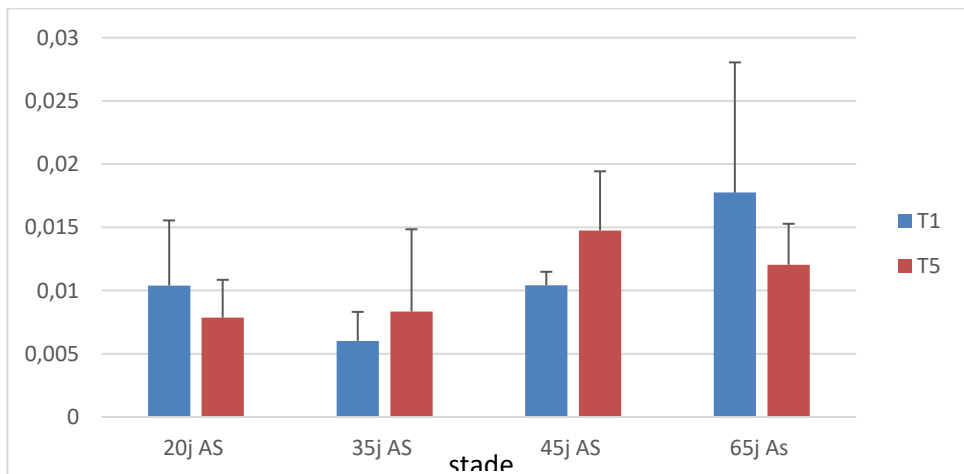


Figure 1 : Variation de la transpiration chez le bersim en fonction de stade végétatifs

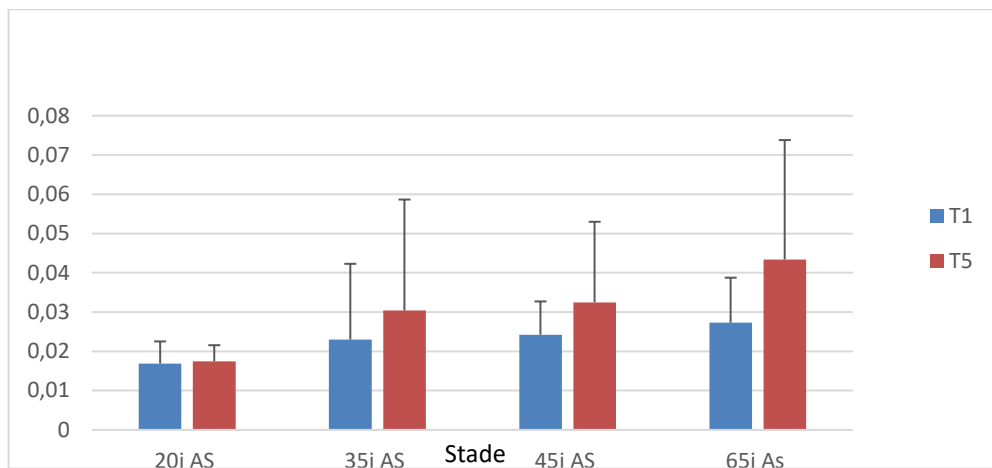


Figure 2 : Variation de la transpiration chez le ray- grass en fonction du stade végétatif

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.

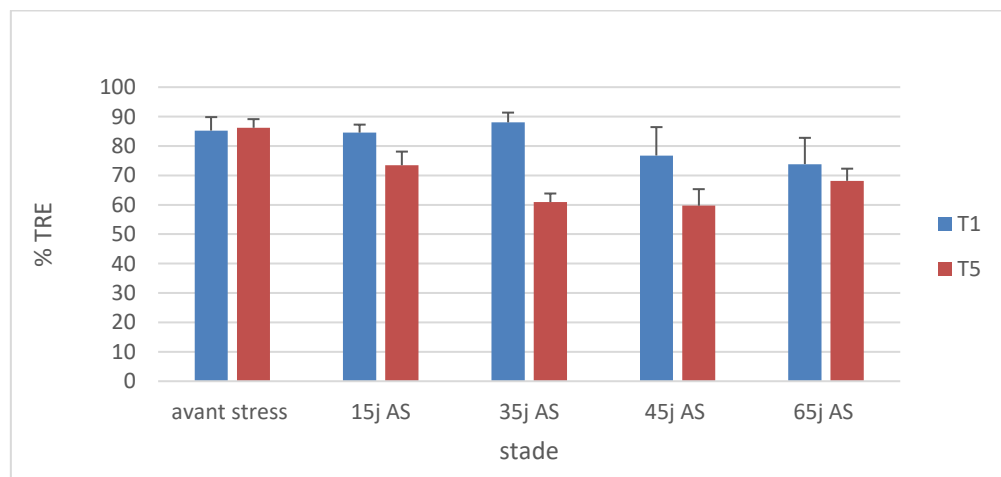


Figure 3 : variation de TRE chez bersim en condition de stress salin aux différents stades végétatifs

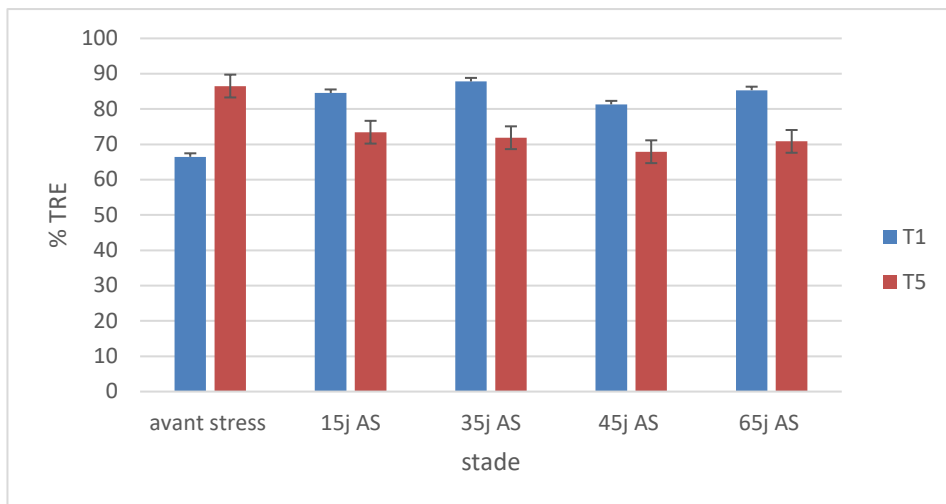


Figure 4 : variation de TRE chez bersim en condition de stress salin aux différents stades végétatifs

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.

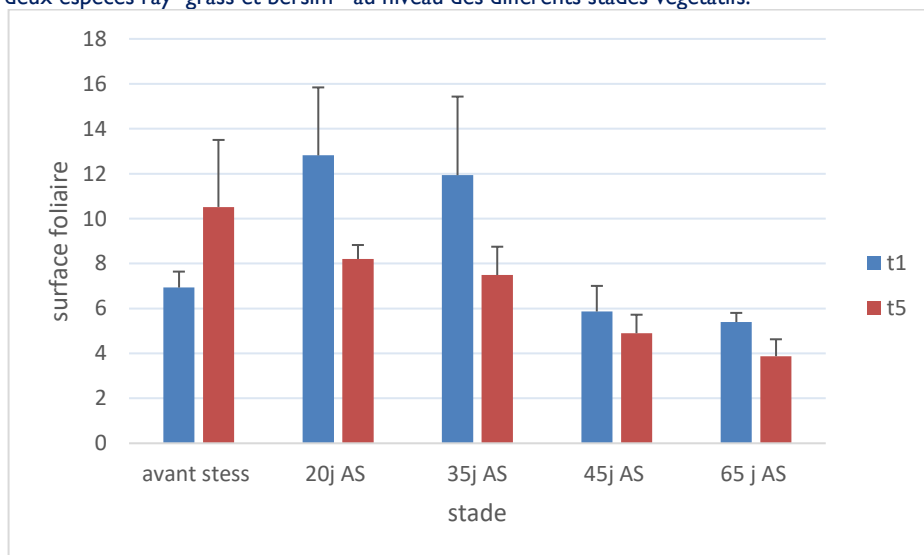


Figure 5 : Variation de la surface foliaire chez le bersim aux différents stades

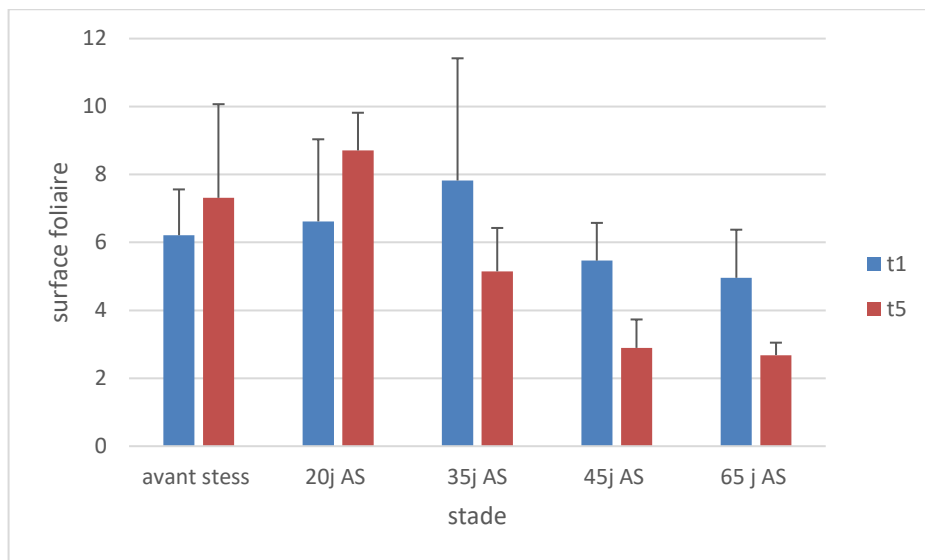


Figure 62 : Variation de la surface foliaire chez le ray -grass aux différents stades végétatifs

4. 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.

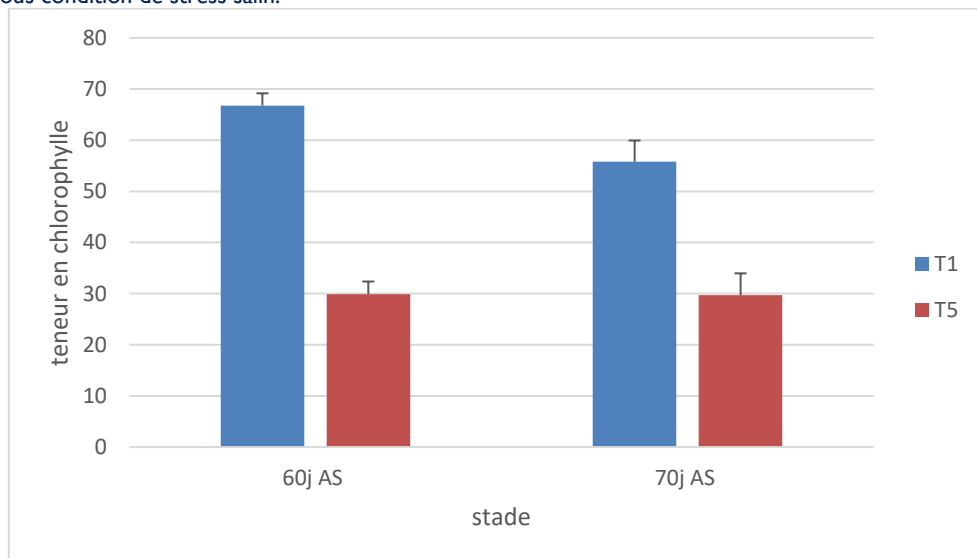


Figure 7: variation de la teneur en chlorophylle chez le bersim

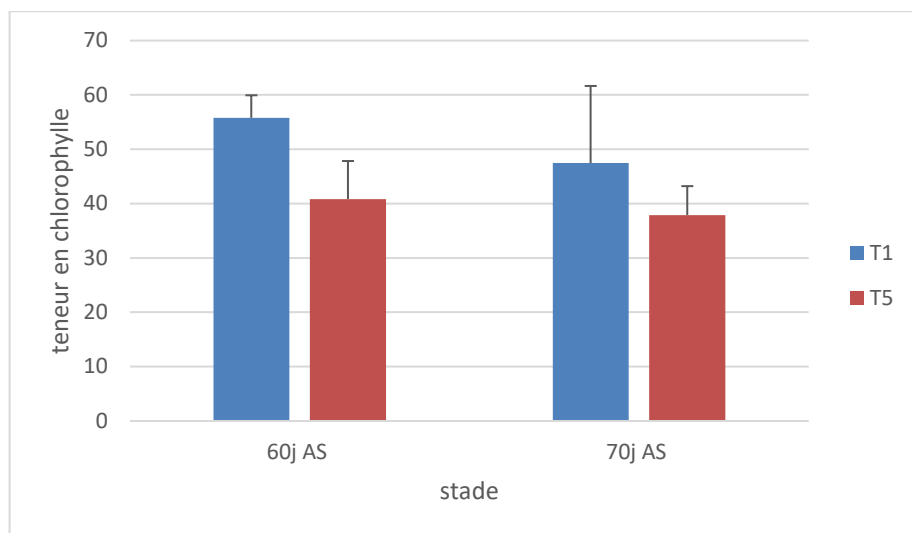


Figure 8: variation de la teneur en chlorophylle chez le ray- grass

5. 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.

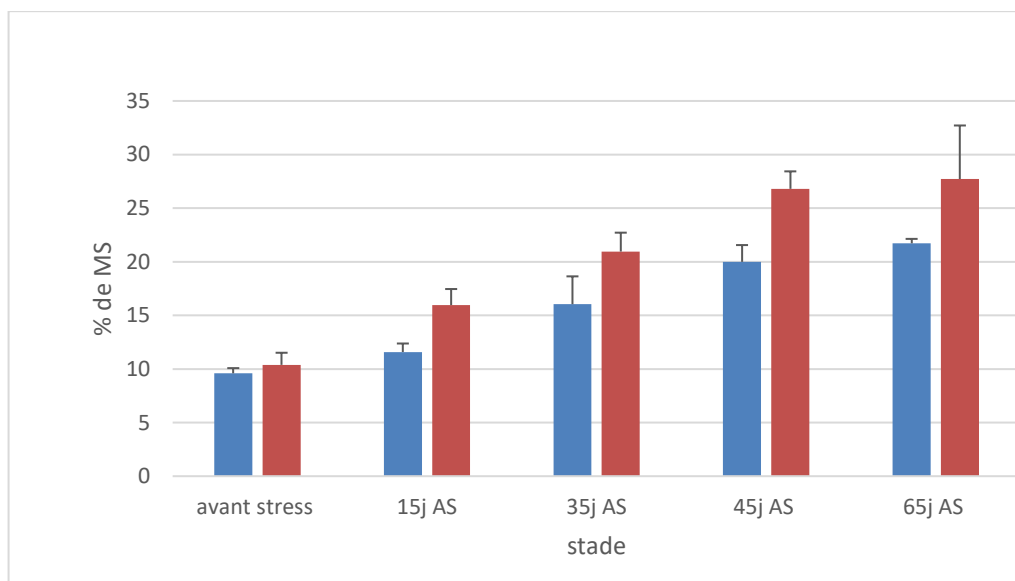


Figure 9 : variation du du rendement en matière sèches en fonction du stade végétatif chez le bersim

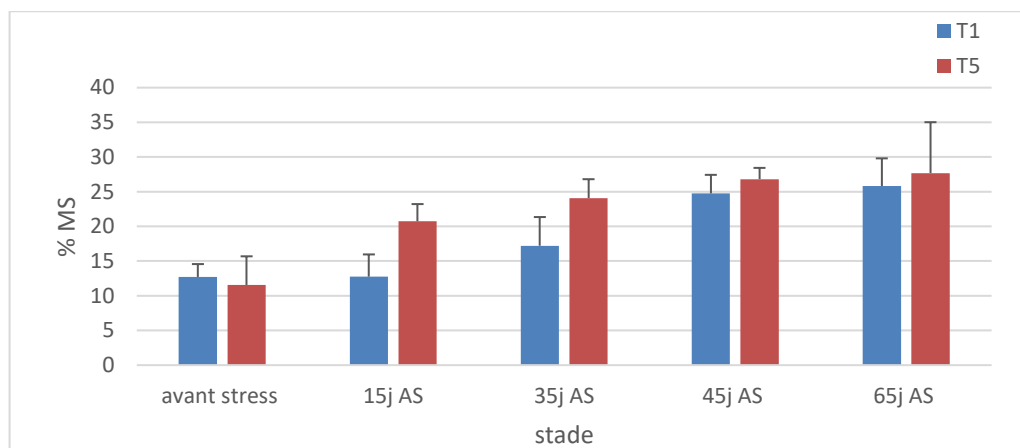


Figure 10: variation du rendement du rendement en matière sèches en fonction du stade végétatif chez le ray- grass

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 cultivars. *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.

Evaluation of the allelopathic effect of *Sinapis arvensis* on the germination and growth of seedlings of *Triticum durum* and *Hordeum vulgare* under controlled conditions

Mohamed Abbad¹; Amina Djerdjouri² and Nedjouna Zemouri³

1. Laboratory of Plant Production and Biotechnology, Faculty of Nature and Life Sciences, Department of Biotechnology and agroecology. University of Blida 1, BP 270, Route of Soumaâ, Blida, Algeria

2. Laboratory of Genetic Resources and Biotechnology. Higher National School of Agronomic, El-Harrach. Algeria.

3. Laboratoire de aromatiser et Médicinal plants. B.P. 270, Route of Soumaâ, Blida, Algeria.

Résumé

The effect of aqueous extracts from the leaves and roots of *Sinapis arvensis* (donor species, Brassicaceae) on the germination and growth parameters of durum wheat (*Triticum durum*) and barley (*Hordeum vulgare* L.) (recipient species, Poaceae) was evaluated. Experiments were conducted under controlled conditions over a 10-day period using various extract concentrations (0.25%, 50%, 75%, and 100%). Results showed that final germination rates (GR%) of both *T. durum* and *H. vulgare* seeds declined with increasing extract concentration, with the strongest effect observed in *H. vulgare* exposed to pure root extract (40.47%) compared to *T. durum* (10.52%). Pure leaf extracts of *S. arvensis* had a more pronounced inhibitory effect on coleoptile and radicle lengths of *T. durum* (reductions of 89.83% and 91.43%, respectively) than root extracts (77.80% and 78.12%, respectively). Fresh biomass of radicles and coleoptiles after 10 days was also more affected in *T. durum* by the foliar extract than in *H. vulgare*. Regression analyses indicated reductions of 99% and 60% in radicle fresh biomass for *T. durum* and *H. vulgare*, respectively, under foliar extract treatment, while root extracts caused reductions of 80% and 61.53%, respectively. These findings highlight the allelopathic potential of *S. arvensis* as a promising candidate for sustainable weed management through bioherbicide applications.

Mots clés : Allelopathic, *Sinapis arvensis*, germination, radicle, coleoptile, aqueous extract.

Évaluation de l'effet allélopathique de *Sinapis arvensis* sur la germination et la croissance des plantules de *Triticum durum* et *Hordeum vulgare* en conditions contrôlées

Abstract

L'effet des extraits aqueux issus des organes foliaires et racinaires de *Sinapis arvensis* (espèce donneuse, Brassicaceae) sur la germination et certains paramètres de croissance du blé dur (*Triticum durum*) et de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) (espèces réceptrices, Poaceae) a été évalué. L'expérimentation a été menée dans des conditions contrôlées à travers des tests biologiques sur une période de dix jours, en utilisant différentes concentrations d'extraits (0,25 %, 50 %, 75 % et 100 %). Les résultats ont montré que les taux finaux de germination (GR%) des graines de *Triticum durum* et *Hordeum vulgare* diminuaient à mesure que la concentration en extrait aqueux augmentait. Cette diminution était plus marquée chez *H. vulgare* avec l'extrait racinaire pur (40,47 %) que chez *T. durum* (10,52 %). Cependant, l'extrait pur provenant de la partie foliaire de *Sinapis arvensis* a significativement affecté la longueur du coleoptile et de la radicule de *T. durum* (réductions de 89,83 % et 91,43 %, respectivement), comparativement à l'extrait pur de la partie racinaire (77,80 % et 78,12 %, respectivement). De plus, la biomasse fraîche des radicules et des coleoptiles des graines de *T. durum* après dix jours de germination a également été plus affectée par l'extrait foliaire pur de *Sinapis arvensis* que celle des graines de *H. vulgare*. Les analyses de régression ont montré des réductions de 99 % et 60 % de la biomasse fraîche des radicules de *T. durum* et *H. vulgare*, respectivement, en présence de l'extrait foliaire pur, tandis que les réductions atteignaient 80 % et 61,53 % pour les extraits racinaires des mêmes espèces. Sur la base de ces résultats, le potentiel allélopathique de l'espèce invasive étudiée est suggéré comme une option viable pour une gestion durable des mauvaises herbes à travers l'application de bioherbicides.

Keywords: Allélopathie, *Sinapis arvensis*, germination, radicule, coleoptile, extrait aqueux

¹ Corresponding author: abbadmohammedd@gmail.com

INTRODUCTION

Cereals are a staple food in many developing countries, particularly in the Maghreb region. In Algeria, cereal crops hold a strategic position in the national food system and economy. They occupy approximately 80% of the country's useful agricultural area (UAA), with 3 to 3.5 million hectares cultivated annually, of which only 63% is harvested [1]. Despite this, cereal production remains insufficient to meet the growing demand and is highly dependent on climatic conditions, leading to significant annual variations in cultivated area, production, and yield. In particular, insufficient rainfall and its uneven distribution during the growing season are major factors affecting cereal production. Declining soil fertility and irregular rainfall during crop growth and maturation are major constraints to yield improvement in the Mediterranean region of North Africa [2]. Beyond the classical competition for water, nutrients, and light, recent studies have highlighted the role of chemical interactions, known as allelopathy, which can influence crop growth and weed control. Many plant species produce molecules capable of affecting neighboring plants by inhibiting germination and growth [3].

Chemical interactions in agroecosystems can significantly impact productivity [4], involving allelochemicals released through volatilization, leaching, decomposition of plants tissues, or root exudation [5]. Most allelochemicals are secondary metabolites, which may have either inhibitory or stimulatory effects on surrounding plants [6], affecting membrane permeability, water and nutrient uptake, and overall growth [7]. Studies have shown that allelopathic compounds can inhibit seed germination and seedling development, with effects that may be additive or synergistic [8].

The objective of this study was to evaluate the allelopathic effects of aqueous extracts from different parts of *Sinapis arvensis* on the germination and growth of durum wheat (*Triticum durum*, variety Waha) and barley (*Hordeum vulgare*, variety Saida), in order to characterize the potential beneficial or harmful effects of the allelochemicals on these crops.

I. MATERIALS AND METHODS

I.1. Plant material

Untreated seeds of durum wheat variety "Waha", and barley variety "Saida" were selected to show allelopathic effect in white mustard (*Sinapis arvensis*). These seeds were brought from the Technical Institute of Agricultural Crops (ITGC) of Oued Smar, El-Harrach, Algeria. They were taken from the harvest of the 2017-2018 campaign, with a germination capacity of 99%. The two species have been washed with drinking water, then with distilled water three times. Afterwards, they were soaked for five minutes in a sodium hypochlorite solution at the concentration of 10% for disinfection. Finally, the seeds were washed three times with distilled water. The samples of the white mustard weed (*Sinapis arvensis*) were unearthed from the experimental station of biotechnologies department, then brought back in plastic bags to the research laboratory of Plant productions biotechnologies, faculty of natural and Life sciences, Blida 1 University, Algeria.

2.2. Crops germination

After disinfestation of the seeds of two tested species, 10 seeds of each were placed on a filter paper in Petri dishes (9cm in diameter). Then volumes of extracts from the different parts (aerial and root), fresh or dry, were added in proportions of 0; 2.5; 5; 7.5 and 10 ml in each Petri dish, completing the final volume to 10 ml by adding distilled water. For this, five concentrations (0; 25; 50; 75 and 100%) were obtained and tested. In total, five tests were carried out. For each trial, five concentrations were tested according to a fully randomized experimental design with four replicates. Petri dishes were incubated in the dark in a cultivation chamber for 10 days at room temperature of 25 ° C.

2.3. Preparation of weed extracts by grinding

The harvest of *Sinapis arvensis* was carried out in the green state and in the bloom during February 2019. A separation of the leaf and root organs was made. Drying the two samples away from heat and light was carried out on a paper for 20 days to preserve the allelopathic power of the tested weed and to prevent oxidation of the plant. After drying, 75g of each part of the plant was mixed in 250 ml of distilled water, crushed for five minutes, and left for 30 minutes for filtration. As a final step, each mixture was filtered through a 0.15 mm sieve and then through Whatman filter paper [9].

2.4. Measurement and observations that made

The germinated seeds are counted daily when the 1 mm long radicle has pierced the integuments, the germination criterion retained in our experiment. Observations are carried out daily to record the number of germinated seeds. For each Petri dish, the percentage and the germination kinetics are two parameters carried

out for the germination phase and the average length and the fresh biomass of coleoptile and radicle are carried out to estimate the morphological parameters.

2.4.1. Germination kinetics

The germination kinetics is a germination curve, which describes the germination course of the seed lot that considered placed under precise conditions. It is most often representing the change in cumulative germination percentages as a function of time. This kinetics is established from the seed rates, that is to say the variation in germination rates as a function of time expressed in days under all the treatment conditions tested. The germination curves give a complete idea of the germination evolution of a seed lot placed under certain conditions [10].

2.4.2. Final germination rate (GR %)

Based on the total number of the sown seeds (Ns), we calculate the number of germinated seeds (Ng). Subsequently, the final seed germination rate (TG) is calculated according to the following relation:

$$TG (\%) = \frac{Ns}{Ng} \times 100$$

2.4.3. Inhibition rate (TI %)

The following relation [11] expresses the ability of a substance or preparation to inhibit seed germination:

$$TI (\%) = \frac{(Ns - Ng)}{Ns} \times 100$$

Ns: Number of sown seeds.

Ng: Number of germinated seeds.

2.4.4. Length of coleoptile and rootlet (cm)

The length of the coleoptile and rootlet expressed in (cm) are measured using Digimizer software (2005-2011 Med Calc. Software).

2.4.5. Fresh biomass of coleoptile and radicle (g)

The fresh biomass of the two organs (coleoptile and radicle) expressed in (g) is carried out using a precision balance.

2.5. Statistical data analysis

The data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) with XLSTAT 2019 software, version 2.2.59417. Mean values and standard errors (SE) were calculated from four replicates for all parameters using Excel 2013. Mean comparisons were performed using the least significant difference (LSD) test at 5%. A probability (P) value of 0.05 was considered statistically significant, while a P value below 0.05 was regarded as highly significant.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Effect of aqueous extracts of *Sinapis arvensis* on germination

3.1.1. Germination kinetics

Figures 1 and 2 shows the evolution of seed germination of wheat and barley crops as a function of time for all of the studied concentrations 0, 25, 50, 75 and 100 %. The results showed that the curves of the germination rates of the treated seeds lie below those of the control curves and approach zero as the dose of the aqueous solution concentration increases. We noticed that the Waha variety evolved more quickly than the Saida variety whose applied extract is from the aerial or root part (Fig. 1 and 2).

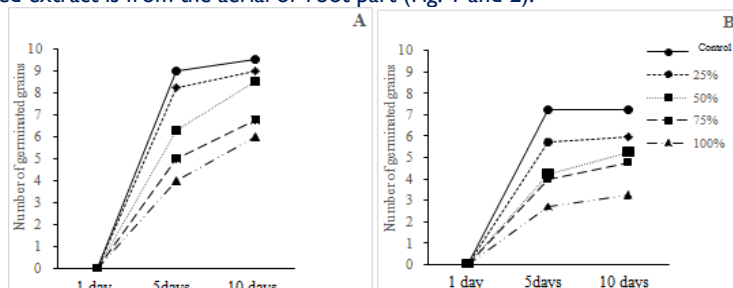


Fig.1. Germination kinetics of wheat seeds (A) and barley (B) during a period of 10 days by a function of the concentrations 0, 25, 50, 75 and 100% of the aqueous extract of *Sinapis arvensis* aerial part.

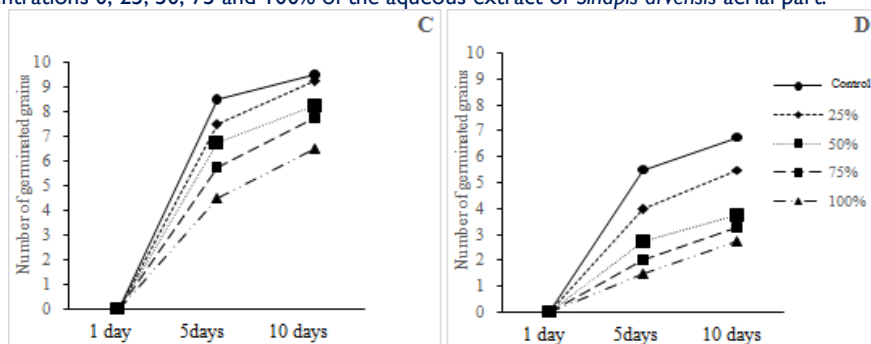


Fig.2. Germination kinetics of wheat seeds (A) and barley (B) during a period of 10 days by a function of the concentrations 0, 25, 50, 75 and 100% of the aqueous extract of *Sinapis arvensis* root part.

The germination curves allow distinguishing two phases:

- A first substantially linear phase, corresponding to a rapid increase in the germination rate which changes in proportion to time, at least for the control plants and the subjected plants to a solution at a concentration of 25%. For the 100% concentration, this phase is very short, which explains the reduced rate of germination due to the allelopathic inhibitory effect on germination.
- A second phase corresponding to a level representing the final percentage of germination and translating the germination capacity of each variety and for each concentration. It appears that this germinating capacity decreases for both studied varieties but with different degrees, depending on the species, the part used in the extraction (aerial or root) and the concentration of the applied solution.

3.1.2. Final germination rate (GR %)

Although it does not fully reflect the behavior of the two studied plants under their natural conditions, the germination rate, under controlled conditions, always gives a more or less precise idea of the studied varieties behavior.

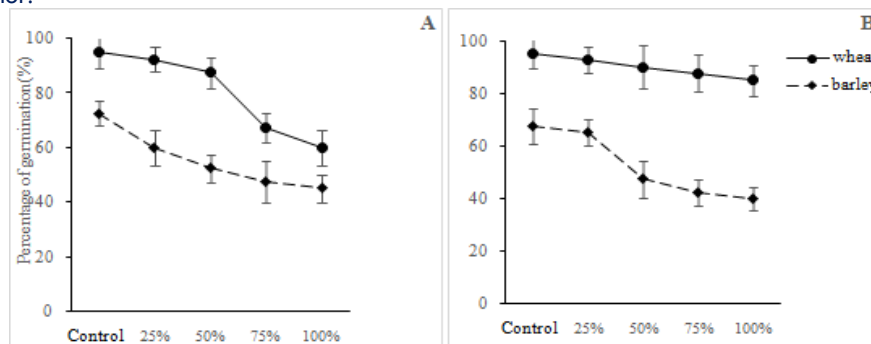


Fig. 3: Final germination rate (TG%) of wheat and barley seeds during a period of 10 days by a function of the concentration 0, 25, 50, 75 and 100% of the aqueous extract of the *Sinapis arvensis* aerial part (A) and root (B).

Fig. 3 shows that, whatever the variety, the germination capacity of the seeds is reduced compared to the control and this for the five used treatments. Indeed, when the concentration of the aqueous solution of *S. Alba* in the leaf part is low (50% and 25%), no significant effect was recorded in the Waha variety compared to the control. However, when the concentration of this solution is pure or diluted to 75%, the germination rate showed a regression equivalent of 36.84% and 28.94% compared to the control respectively. In contrast, this variety showed no significant effect on the aqueous solution concentration of *S. Alba* root part compared to the control. In addition, all the tested concentrations exerted a germination rate, which did not exceed 10.52% relative to the control. On the other hand, the variety Saida showed a significantly remarkable sensitivity to the

increasing concentration of *S. Alba* aqueous solution and it showed a depressive effect on the germination rate of 37.92 and 40.74% in the pure concentration of the leaf and root part respectively compared to the control.

3.1.3. Final inhibition rate (TR %)

The data in Fig. 4, illustrating the effect of the aqueous solution concentrations of the aerial (Fig. 4. A) and the root part (Fig. 4. B) of *Sinapis arvensis* on the inhibition rate of germination expressed in %. The plant leaf or root extract, pure or diluted to 75%, has an exceptional ability to inhibit the germination of wheat seeds compared to barley seeds. For the lower concentrations (50% and 25%), the maximum inhibition rate recorded varies between 70.90% and 45.45% for barley seeds. Compared to the root extract, the maximum inhibition rate is 61.53%. For wheat seeds, the maximum inhibition rate recorded ranges from 150% to 50% for the plant-leaf extract. While it varies between 100% and 50% for the plant root extract. Generally, it is noted that the leaf extract has a more effective germination inhibiting capacity than that of the root extract.

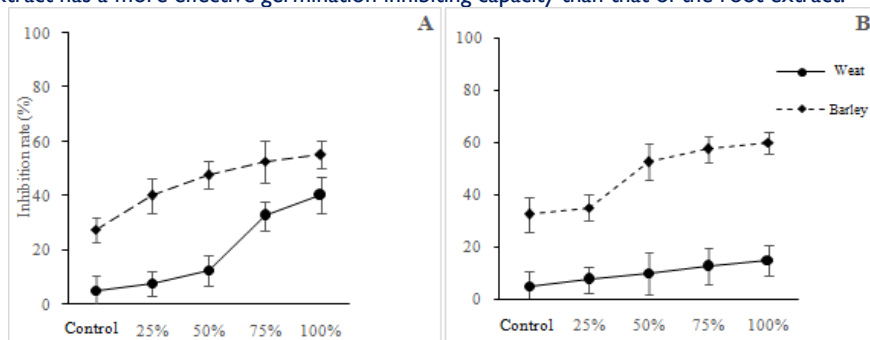


Fig. 4: Inhibition rate of wheat and barley seeds germination of during a period of 10 days by a function of the concentrations 0, 25, 50, 75 and 100% of the aqueous extract of *Sinapis arvensis* aerial (A) and root part (B).

3.2 Effect of *Sinapis arvensis* aqueous extracts on growth

3.2.1. Average coleoptile length (cm)

In view of Fig. 5 results, the allelopathic effect of the used extract concentration of *Sinapis arvensis* on seems obvious. A continual decrease in coleoptiles length of both cultures was revealed. It varies between 89.83% and 77.80% in the presence of pure extracts of leaf and root of wheat culture respectively, and between 82.34% and 38.86% for the culture of barley compared to the control. In 25% extract, coleoptile length was observed at 45.26% and 35.62% reduction in leaf extract and 52.04% and 22.20% in root extract for cultivation wheat and barley respectively compared to the control. The Percentage reduction increases by 16.94% and 6.16% of the reductions already recorded for the two cultures respectively at 50% leaf extract concentration and increases by 10.27% and 4.50% in root extract. Nevertheless, at an extract concentration of 75% the reductions were 70.02% and 57.36% in the leaf extract and 64.14% and 35.27% in the root extract respectively with respect to the control.

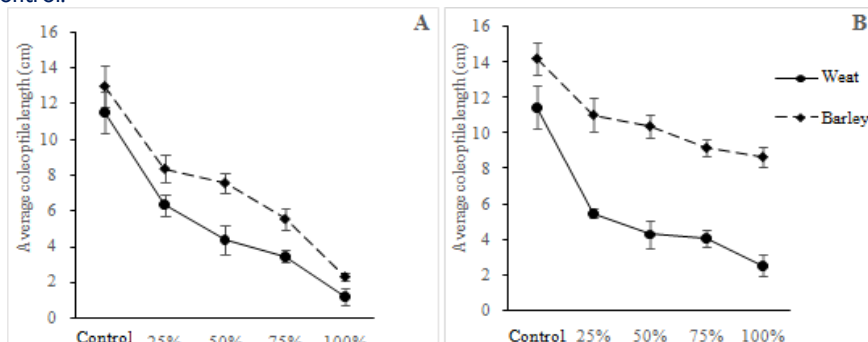


Fig. 5. Average coleoptile length (cm) of young wheat and barley seedlings by a function of concentrations 0, 25, 50, 75 and 100% of the *Sinapis arvensis* aqueous extract of the aerial part (A) and root part (B).

3.2.2. Average root length (cm)

According to the results shown in Fig. 6, the allelopathic effect of the aqueous leaf and root extract of *Sinapis arvensis* is certain. It depends on the concentration and the organ being tested.

The presence of pure extracts of *Sinapis arvensis* leaf and root exerts the strongest inhibition. They vary between 91.43% and 78.12% in the presence of foliar and root extracts of the wheat culture respectively, and between 70.87% and 48.55% for the barley culture compared to the control. In the extract of 25%, the length of the radicles was observed at 47.43% and 46.53% for the culture of reduction wheat in leaf extract while it did not exceed 8.98% and 8.74% for the culture of barley in the leaf and root extract respectively compared to the control. However, at a concentration that diluted to 75%, the mean length of the radicles showed a regression equivalent to 76.07 % and 74.58% in the presence of the leaf and root extracts for the cultivation of wheat, respectively, and 33.66% and 34.98% in the presence of the leaf and root extracts for the cultivation of barley respectively.

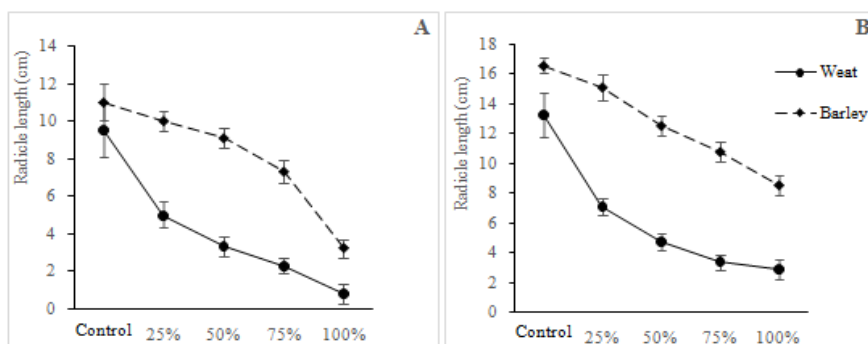


Fig. 6: Average radicle length (cm) of young wheat and barley seedlings by a function of the concentrations 0, 25, 50, 75 and 100% of the *Sinapis arvensis* aqueous extract of the aerial part (A) and root part (B).

3.2.3. Average fresh biomass of coleoptiles (g)

The data in Fig 7, illustrating the concentrations effect of the aqueous solution of *Sinapis arvensis* aerial (Fig. 7. A) and root (Fig. 7. B) part on the average fresh biomass of coleoptiles of young wheat seedlings and barley expressed in [g]. It is clear that the foliar and root organs of *Sinapis arvensis* have remarkable allelopathic effects on the fresh biomass of coleoptiles of wheat and barley, depending on the concentration of the tested aqueous solution. A continual decrease varies between 90% and 77.77% in the presence of the pure extracts of leaf and root for the wheat culture respectively, and between 60% and 61.53% for the culture and barley compared to the control. However, at a concentration of 75%, the average fresh biomass of coleoptiles showed a regression equivalent to 75% and 66.66% in the presence of foliar, root extracts for the wheat culture respectively, it varies between 20% and 46.15 % in the presence of leaf, and root extracts for barley cultivation respectively. In 25% extract, the average fresh biomass of coleoptiles was observed at 50% and 55.55% reduction in the leaf extract and 0% and 23.07% in the root extract for the cultivation of wheat and barley respectively compared to the control.

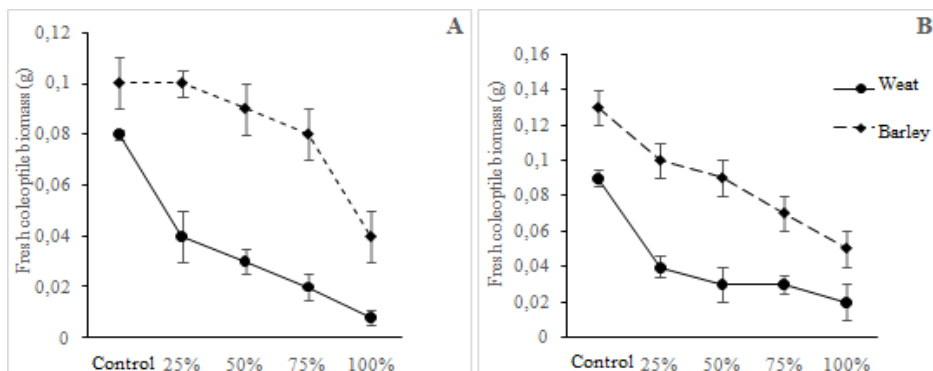


Fig. 7: Average fresh biomass of coleoptiles [g] of young wheat and barley seedlings by a function of the concentrations 0, 25, 50, 75 and 100% of the aqueous extract of the aerial part (A) and the root part (B).

3.2.4. Average fresh radicle biomass (g)

The data in fig. 8 shows the effect of the aqueous solution concentrations of the aerial (Fig. 7. A) and root (Fig. 7. B) parts of *Sinapis arvensis* on the average fresh biomass of young wheat seedlings radicles, and barley expressed in [g].

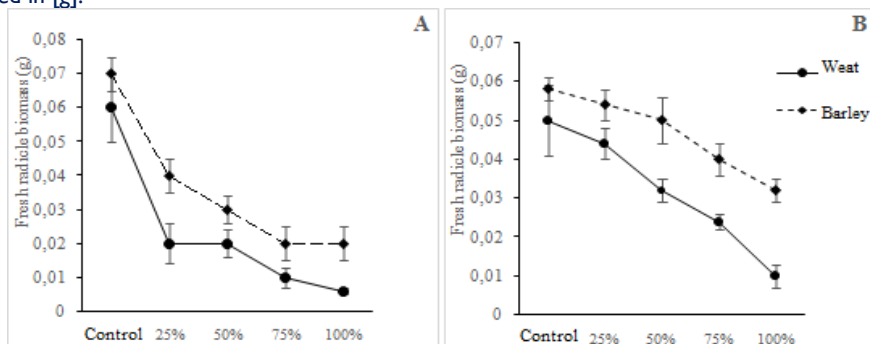


Fig. 8: Radicles average fresh biomass [g] of young wheat and barley seedlings by a function of the concentrations 0, 25, 50, 75 and 100% of the aqueous extract of the aerial part (A) and root part (B).

The presence of the pure extracts of *Sinapis arvensis* leaf and root exerts the strongest inhibition. They vary between 99% and 80% in the presence of foliar and root extracts for the wheat culture respectively, and between 71.42% and 44.82% for the barley culture compared to the control. However, at a concentration of 75 %, the average fresh biomass of the radicles showed a regression equivalent to 83.33% and 52% in the presence of leaf, root extracts for the wheat culture respectively, 71.42%, and 31.03% in the presence of leaf, and root extracts for barley culture respectively. In 50% concentration of the extract, the average fresh biomass of the radicles was observed at 66.66% and 52% for the wheat reduction culture in the leaf extract whereas it does not exceed 57, 14% and 13.79% for the culture of barley in the leaf and root extract respectively relative to the control.

4. Discussion

Weeds of the genus *Sinapis* (Brassicaceae) represent a major biotic constraint on cereal production in Algeria, particularly for strategic crops such as wheat and barley. Phytochemical studies of the Brassicaceae family highlight a high content of secondary metabolites, including glucosinolates, flavonoids, and sterols [12]. Allelochemicals have been identified in various plant organs and are known to significantly affect neighboring plants. In Brassicaceae, the primary allelopathic compounds are isothiocyanates, derived from the catabolism of glucosinolates in plant tissues incorporated into the soil. Understanding the complex mechanisms of allelopathy requires knowledge of precursor structures, diversity and quantity, plant matrices, cofactors (enzymatic or otherwise), and environmental conditions such as temperature and pH [13]. These compounds offer potential for developing non-synthetic alternatives for weed management.

Most studies report allelopathic effects of aqueous extracts, primarily inhibiting germination, biomass production, and root elongation [14, 15]. Our study showed that all aqueous treatments of *Sinapis arvensis* had a weaker effect on durum wheat germination compared to barley, although leaf extracts exhibited more pronounced allelopathic activity than root extracts, particularly at 75% and 100% concentrations. Lower concentrations did not significantly affect germination or early growth, though notable impacts on plant development were observed. Initial exposure to allelochemicals likely forces recipient plants to reallocate resources toward defense rather than growth, temporarily reducing overall growth rate.

Once allelochemical effects diminish, plants can readjust metabolic activity, explaining the absence of visible effects at harvest time. Water-soluble phenolic compounds in the extracts are likely responsible for reduced germination and biomass production, potentially by disrupting hormonal balance, protein synthesis, enzyme activity, photosynthesis, and respiration [18–20]. In particular, inhibition of germination may involve alterations in gibberellic acid activity, which regulates amylase synthesis during seed germination [20]. Phenolic compounds may also depress and delay germination by inhibiting respiration, affecting enzymes of the pentose phosphate pathway, DNA and RNA synthesis, ATP production, and Calvin cycle intermediates during early leaf greening [21]. Inhibition of DNA synthesis in primary meristems and roots, as well as slowed incorporation of amino acids for protein and nucleic acid synthesis, has been reported [22–24].

These compounds may additionally regulate plant hormone activity, including suppression of indole acetic acid (IAA) degradation. Our results confirm that both leaf and root organs of *S. arvensis* exert significant allelopathic effects on coleoptile and radicle elongation in wheat and barley. Growth inhibition likely arises from phytotoxic compounds released from the leaves and roots. These findings are consistent with previous reports showing a concentration-dependent inhibitory effect of plant extracts on germination and growth [25]. Alkaloids and flavonoids may inhibit key plant enzymes (e.g., ATPase) or disrupt processes such as phosphorylation, oxidative metabolism, membrane transport, and protein or lipid synthesis, leading to metabolic disturbances. For instance, cinnamic acid treatment in crabapple seeds reduced the activity of phosphofructokinase, glucose-6-phosphate dehydrogenase, and malate dehydrogenase, which are essential for glycolysis, the pentose phosphate pathway, and the tricarboxylic acid cycle, resulting in reduced respiration, growth retardation, and impaired nutrient uptake [25, 26].

In our study, extracts from leaves and roots of *S. arvensis* caused more pronounced morphological disturbances in wheat seedlings than in barley, significantly reducing radicle and coleoptile length as well as biomass. This aligns with previous findings showing that higher extract concentrations inhibit primary and lateral root development, decrease root hair length and density, impair cell division at root tips, and increase chromosomal aberrations and micronucleus formation [27]. Decreased fresh biomass accumulation may also result from disrupted cell division and impaired photosynthetic activity [2]. The inhibitory effects of water-soluble phenolic compounds on germination and growth have been widely documented [18, 28, 29].

5. CONCLUSION

This study demonstrates the significant allelopathic potential of *Sinapis arvensis* on key cereal crops such as durum wheat (*Triticum durum*) and barley (*Hordeum vulgare*). Laboratory bioassays confirmed that water-soluble allelochemicals are released from both leaves and roots, inhibiting germination, reducing radicle and coleoptile elongation, and decreasing seedling biomass. Leaf extracts generally exerted stronger effects than root extracts, and higher concentrations caused more pronounced growth inhibition. These effects are likely mediated by phenolic compounds, glucosinolate-derived isothiocyanates, flavonoids, and other secondary metabolites that disrupt enzymatic activity, hormonal balance, protein synthesis, and metabolic pathways essential for early plant growth. The findings suggest that *S. arvensis* has the potential to act as a natural bioherbicide, offering an alternative to synthetic chemicals for sustainable weed management in wheat and barley cultivation. Moreover, its residues may contribute positively as an organic fertilizer, enhancing soil fertility and crop productivity. However, further research is required to identify and characterize the specific allelochemicals involved and to validate their biological activity under field conditions within their natural habitat. A deeper understanding of the allelopathic interactions of *S. arvensis* could provide innovative strategies for managing spontaneous flora in cultivated plots, reducing dependence on synthetic herbicides while promoting environmentally friendly and sustainable agricultural practices. Overall, this study highlights the dual potential of *S. arvensis* as both a

bioherbicide and a natural soil amendment, offering promising applications for integrated crop management and sustainable cereal production in regions such as Algeria.

Références

- [1] A. Djermoun, "La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques," vol. 45, p. 53, 2009.
- [2] C. Hachani, M. Abbasi, C. Lazhar, M. S. Lamhamedi, and Z. Béjaoui, "Allelopathic effects of leachates of *Casuarina glauca* Sieb. ex Spreng. and *Populus nigra* L. on germination and seedling growth of *Triticum durum* Desf. under laboratory conditions," *Agrofor. Syst.*, vol. 93, no. 5, pp. 1973–1983, 2019, doi: 10.1007/s10457-018-0298-3.
- [3] D. N. M. G and D. Nicolas, "Phénomènes d' allélopathie : premières observations au champ Journées techniques nationales fruits & légumes et viticulture biologiques : Beaune," vol. 34, pp. 383–387, 1998.
- [4] S. Jose, "Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits : An overview," *Agrofor. Syst.*, vol. 76, no. 1, pp. 1–10, 2009, doi: 10.1007/s10457-009-9229-7.
- [5] F. Cheng and Z. Cheng, "Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy," *Front. Plant Sci.*, vol. 6, no. NOVEMBER, pp. 1–16, 2015, doi: 10.3389/fpls.2015.01020.
- [6] M. K. Amb and A. S. Ahluwalia, "Allelopathy : Potential Role to Achieve New Milestones in Rice Cultivation," *Rice Sci.*, vol. 23, no. 4, pp. 165–183, 2016, doi: 10.1016/j.rsci.2016.06.001.
- [7] C. R. Das, N. K. Mondal, P. Aditya, J. K. Datta, A. Banerjee, and K. Das, "Allelopathic Potentialities of Leachates of Leaf Litter of Some Selected Tree Species on Gram Seeds under Laboratory Conditions," *Asian J. Exp. Biol. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 59–65, 2012.
- [8] M. Scognamiglio, "Identification of Potential Allelochemicals From Donor Plants and Their Synergistic Effects on the Metabolome of *Aegilops geniculata*," *Front. Plant Sci.*, vol. 11, no. August, 2020, doi: 10.3389/fpls.2020.01046.
- [9] S. Ben-ghabrit and M. Bouhache, "Effets allélopathiques d'une adventice envahissante (*Verbesina encelioides* Cav. Benth & Hook) sur la germination et la croissance du blé dur. December, 2017.
- [10] D. Come, "Les Obstacles à la Germination, 1970," *Bull. Mens. la Société linnéenne Lyon*, vol. 40, no. 7, p. p.108, 1971.
- [11] F. Talhi, N. Gherraf, and A. Zellagui, "Allelopathic effect of the aqueous extract of *Lantana camara* L. on the germination and development of four vegetable species," vol. 18, pp. 116–121, 2020.
- [12] A. Berreguioua, "Investigation phytochimique sur des extraits bioactifs de deux brassicaceae medicinales du sud algerien : *Moricandia arvensis* et *Zilla macroptera*," pp. 2015–2016, 2016.
- [13] R. Reau et al., "Effets allélopathiques des Brassicacées via leurs actions sur les agents pathogènes telluriques et les mycorhizes : analyse bibliographique. Partie II," *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, vol. 12, no. 4, pp. 314–319, 2005, doi: 10.1051/ocl.2005.0314.
- [14] C. G. Puig, M. J. Reigosa, P. Valentão, P. B. Andrade, and N. Pedrol, "Unravelling the bioherbicide potential of *Eucalyptus globulus* Labill: Biochemistry and effects of its aqueous extract," *PLoS One*, vol. 13, no. 2, pp. 1–16, 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0192872.
- [15] V. Rueda-Ayala et al., "Allelopathic properties of *Calliandra haematocephala* Hassk. extracts and fractions as an alternative for weed management in quinoa and rice crops," *Acta Physiol. Plant.*, vol. 42, no. 4, pp. 1–14, 2020, doi: 10.1007/s11738-020-03041-z.
- [16] A. Ghatak, P. Chaturvedi, and W. Weckwerth, "Metabolomics in plant stress physiology," *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.*, vol. 164, pp. 187–236, 2018, doi: 10.1007/10_2017_55.
- [17] B. D'Abrósca, "Plant bioassay to assess the effects of allelochemicals on the metabolome of the target species *Aegilops geniculata* by an NMR-based approach," *Phytochemistry*, vol. 93, pp. 27–40, 2013, doi: 10.1016/j.phytochem.2013.03.016.
- [18] A. Zohaib, T. Tabassum, S. A. Anjum, T. Abbas, and U. Nazir, "Efeito alelopático de algumas plantas daninhas do trigo associadas na germinabilidade e produção de biomassa de plântulas do trigo," *Planta Daninha*, vol. 35, 2017, doi: 10.1590/S0100-83582017350100089.
- [19] A. Zohaib, T. Abbas, and T. Tabassum, "Weeds Cause Losses in Field Crops through Allelopathy," *Not. Sci. Biol.*, vol. 8, no. 1, 2016, doi: 10.15835/nsb.8.1.9752.
- [20] N. Jafri, M. Mazid, and F. Mohammad, "Responses of seed priming with gibberellic acid on yield and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.)," *Indian J. Agric. Res.*, vol. 49, no. 3, pp. 235–240, 2015, doi: 10.5958/0976-058X.2015.00036.0.
- [21] D. Pergularia, "a Queue De P Ergularia Tomentosa L.," *Leban. Sci. J.*, vol. 17, no. June, p. 26, 2016, doi: 10.22453/LSJ-017.1.025035.
- [22] A. Mishra, "Allelopathic properties of *Lantana camara*," *Int. Res. J. Basic Clin. Stud.*, vol. 3, no. 1, pp. 13–28, 2015, doi: 10.14303/irjbc.2014.048.
- [23] J. John and S. Sarada, "Role of phenolics in allelopathic interactions," *Allelopath. J.*, vol. 2, no. July, pp. 215–230, 2012.
- [24] A. Ladhari, B. Gaaliche, A. Zarrelli, M. Ghanem, and M. Ben Mimoun, "Allelopathic potential and phenolic allelochemicals discrepancies in *Ficus carica* L. cultivars," *South African J. Bot.*, vol. 130, pp. 30–44, 2020, doi: 10.1016/j.sajb.2019.11.026.
- [25] D. Soltys et al., "Phytotoxic cyanamide affects maize (*Zea mays*) root growth and root tip function : From structure to gene expression," *J. Plant Physiol.*, vol. 171, no. 8, pp. 565–575, 2014, doi: 10.1016/j.jplph.2014.01.004.
- [26] X. Bin Gao, "Effects of cinnamon acid on respiratory rate and its related enzymes activity in roots of seedlings of *malus hupehensis* rehd.," *Agric. Sci. China*, vol. 9, no. 6, pp. 833–839, 2010, doi: 10.1016/S1671-2927(09)60161-9.
- [27] D. Sarma, P. Basumatary, and B. K. Datta, " Allelopathic impact of *Melastoma malabathricum* L. on the seed germination and seedling growth of three agricultural crops" *J. Indian Bot. Soc.*, vol. 98, no. 3and4, p. 183, 2019, doi: 10.5958/2455-7218.2019.00021.4.
- [28] A. Gulzar and M. B. Siddiqui, "Allelopathic effect of *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. on growth and antioxidant activity of *Brassica oleracea* var. botrytis," *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, vol. 16, no. 4, pp. 375–382, 2017, doi: 10.1016/j.jssas.2015.12.003.
- [29] A. Tanveer, A. Khaliq, H. H. Ali, G. Mahajan, and B. S. Chauhan, "Interference and management of parthenium : The world's most important invasive weed," *Crop Prot.*, vol. 68, pp. 49–59, 2015, doi: 10.1016/j.cpro.2014.11.005.

Étude phytosociologique et cartographie de la végétation des zones humides de la région de Souk Ahras (Nord-Est de l'Algérie)

Touarfia Moundji¹, Bouali Nourredine², Menaa Mohcen¹, Ayari Adel¹, Djouamaa Abdelkader¹, Bouzahouane Hana¹, Barour Ali¹ and Maaazi Mohamed Cherif

¹ LSTFF, Department of Biological Sciences, Faculty of Nature and Life Sciences, University of Souk Ahras, Algeria

² Department of Cellular and Molecular Biology, Faculty of Natural and life Sciences, University of El Oued, 39000, Algeria

Résumé

Cette étude se concentre sur l'analyse spatio temporelle de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) dans trois zones humides de la région de Souk-Ahras, à savoir le marais de Madjen Djedj, le marais de Mekeimen et le marais de Madjen Bouhsane. Les données proviennent d'images satellitaires LANDSAT pour les saisons printanières des années 2017, 2018, 2019 et 2020, et le mois d'avril a été choisi comme période d'étude en raison du pic de floraison et de la richesse maximale en espèces floristiques. Les résultats montrent que l'année 2019 présente les valeurs de NDVI les plus élevées, reflétant les précipitations abondantes cette année-là, tandis que les années 2017, 2018 et 2020, caractérisées par une pluviométrie plus faible, présentent des NDVI réduits. L'analyse démontre une corrélation positive significative entre le NDVI et les précipitations, confirmant que la disponibilité en eau est le principal facteur limitant pour la végétation dans ces zones humides semi-arides. Ces résultats sont comparés à des études nationales et internationales, montrant une tendance générale de sensibilité du NDVI aux précipitations, mais également l'influence de facteurs locaux tels que la taille des marais, la fertilité du sol et la dynamique hydrique. L'étude souligne l'importance de combiner les observations satellitaires et locales pour une gestion durable des zones humides méditerranéennes et fournit des indications pour la conservation de la biodiversité et la régulation écologique

Mots clés : NDVI, Zones humides, Végétation, Pluviométrie, Souk-Ahras, Analyse spatiale, Gestion écologique.

Phytosociological Study and Vegetation Mapping of the Wetlands in the Souk-Ahras Region (Northeast Algeria)

Abstract

This study focuses on the spatio-temporal analysis of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in three wetlands of the Souk-Ahras region: Madjen Djedj Marsh, Mekeimen Marsh, and Madjen Bouhsane Marsh. The data were derived from LANDSAT satellite images for the spring seasons of 2017, 2018, 2019, and 2020, with April selected as the study period due to the peak flowering and maximum species richness. Results indicate that 2019 recorded the highest NDVI values, corresponding to abundant rainfall, whereas 2017, 2018, and 2020, characterized by lower precipitation, exhibited reduced NDVI values. The analysis demonstrates a significant positive correlation between NDVI and precipitation, confirming that water availability is the primary limiting factor for vegetation in these semi-arid wetlands. Comparisons with national and international studies reveal a general trend of NDVI sensitivity to rainfall, while also highlighting the influence of local factors such as wetland size, soil fertility, and hydrological dynamics. This study emphasizes the importance of integrating satellite and local observations for sustainable wetland management, providing insights for biodiversity conservation and ecological regulation.

Key Words: NDVI, Wetlands, Vegetation, Precipitation, Souk-Ahras, Spatial Analysis, Ecological Management

¹ Corresponding author: m.touarfia@univ-soukahras.dz

I. INTRODUCTION

Les zones humides jouent un rôle crucial dans la biodiversité, la régulation hydrologique et le stockage de carbone, offrant des services écosystémiques essentiels. La végétation de ces écosystèmes est particulièrement sensible aux conditions climatiques, notamment à la disponibilité en eau et aux précipitations [3]. L'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) est un outil largement utilisé pour évaluer la densité et la santé de la végétation à partir de données satellitaires, en captant les différences de réflectance entre le proche infrarouge et le rouge [8,12]. Dans les zones semi-arides méditerranéennes telles que la région de Souk-Ahras (Nord-Est de l'Algérie), la dynamique des marais dépend fortement de la quantité d'eau disponible. Comprendre la manière dont le NDVI réagit aux variations pluviométriques est donc essentiel pour la conservation et la gestion durable de ces zones humides. Les études antérieures, à différentes échelles géographiques, ont démontré l'existence d'une relation étroite entre le NDVI et les précipitations, aussi bien en Algérie [4-13] qu'à l'échelle internationale [8-5-12]. Ainsi, cette étude vise à quantifier les variations du NDVI durant la saison printanière (avril) dans les marais naturelles de Souk-Ahras pour les années 2017 à 2020, à analyser la corrélation entre le NDVI et les précipitations locales, à comparer les résultats obtenus avec d'autres travaux nationaux et internationaux, et enfin à proposer des recommandations pour une gestion durable et éclairée des zones humides méditerranéennes.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Situation géographique de la commune de Sidi-Fredj

La commune de Sidi-Fredj se situe au Sud-Est de la région de Souk-Ahras (36° 45' 51"N et 2° 50' 38"E) (Fig. 01), elle est limitée au Nord par la commune de Heddada; à l'Ouest par la commune de Taoura; au Sud par la wilaya de Tébessa et à l'Est par la Tunisie [14]. La commune de Sidi-Fredj est située dans un étage bioclimatique semi-aride à hiver frais. La température annuelle moyenne est de l'ordre de 15,88°C ; les précipitations annuelles avoisinent les 338 mm. En ce qui concerne le réseau hydrographique, la commune est caractérisée par l'absence des cours d'eau permanents et la présence de nappes phréatiques saumâtre. Elle est limitée de sud par l'Oued Mallegue et traversée par des petits oueds, tels que l'Oued Zerga à l'Est et l'Oued Maiza à l'Ouest.

La commune de Sidi-Fredj présente un relief accidenté avec une altitude moyenne de 750 m, d'une manière générale, l'altitude diminue du Nord au Sud, la commune se présente en 5 classes d'altitude, à savoir : (Fig. 02)

- ✓ Les classes des altitudes comprennent entre 427 et 523 m dans le Sud et le Nord-Est de la commune,
- ✓ Les classes des altitudes comprennent entre 524 et 599 m dans l'Ouest et le Nord-Est de la commune,
- ✓ Les classes des altitudes comprennent entre 600 et 695 m dans l'Est et le Nord-Ouest de la commune,
- ✓ Les classes des altitudes comprennent entre 696 et 829 m dans le Nord et le Nord-Ouest de la commune,
- ✓ Les classe des altitudes comprennent entre 830 et 1120 m dans le Nord de la commune [11].

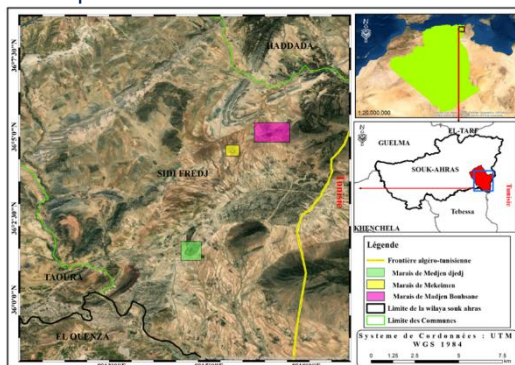


Fig. 1 - Localisation géographique des trois zones humides: marais de Madjen Djedj, marais de Mekeimen et marais de Madjen Bouhsane

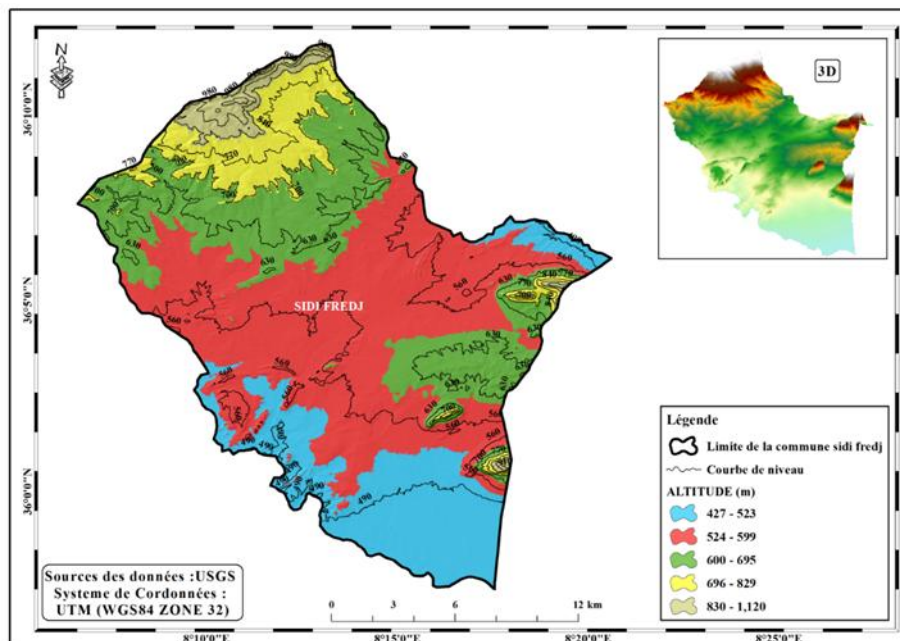


Fig. 2 - Carte topographique par les classes d'altitude de la commune de Sidi-Fredj.

2.2. Dérivation du NDVI (Indice de végétation par différence normalisée)

Parmi tous les indices de végétation fournis depuis les origines de la télédétection spatiale, l'indice de végétation normalisé (NDVI) [10], est le plus couramment utilisé en analyse d'images satellites pour la description du comportement spectral de la couverture végétale. Cet indice est calculé à partir de deux bandes spectrales, le rouge R et l'infrarouge IR selon la formule suivante : $NDVI = (IR - R) / (IR + R)$.

Les valeurs du NDVI varient entre +1 (végétation en pleine activité chlorophyllienne) et -1 (autres types d'occupation du sol). Généralement, les valeurs qui sont > 0.1 , indiquent la présence d'une végétation plus au moins dense, alors que les valeurs < 0 , témoignent sur l'absence de végétation.

On a utilisé des images LANDSAT (Landsat 8 OLI et Landsat 7 ETM+) pour extraire le NDVI au mois d'avril — moment choisi car il correspond au pic de floraison. [8-12].

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Cette partie est basée sur l'analyse des variations des valeurs de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), mesurées à partir d'une série d'images satellitaire (LANDSAT), pendant la saison printanière des années 2017, 2018, 2019 et 2020.

Nous avons choisi le mois d'avril parce que c'est le mois où nous avons recensé le nombre le plus élevé des espèces floristiques. Les valeurs les plus élevées de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) sont enregistrées en 2019 dans les trois sites d'étude marais de Madjen Djedj, marais de Mekeimen et marais de Madjen Bouhsane avec respectivement 0,369, 0,450 et 0,525. Les valeurs de NDVI ont connu une baisse remarquable pour les années 2017, 2018 et 2020, cela est dû principalement à l'irrégularité de la pluviométrie. Selon les données obtenues des deux stations météorologiques les plus proches de la zone d'étude (Souk-Ahras et Kef -Tunisie-), les moyennes de précipitations les plus élevées sont enregistrées en 2019. La valeur

maximale du NDVI est calée sur le maximum pluviométrique et la baisse de la pluviométrie entraîne également celle du NDVI (Fig. 03, 04, 05, 06 et 07).

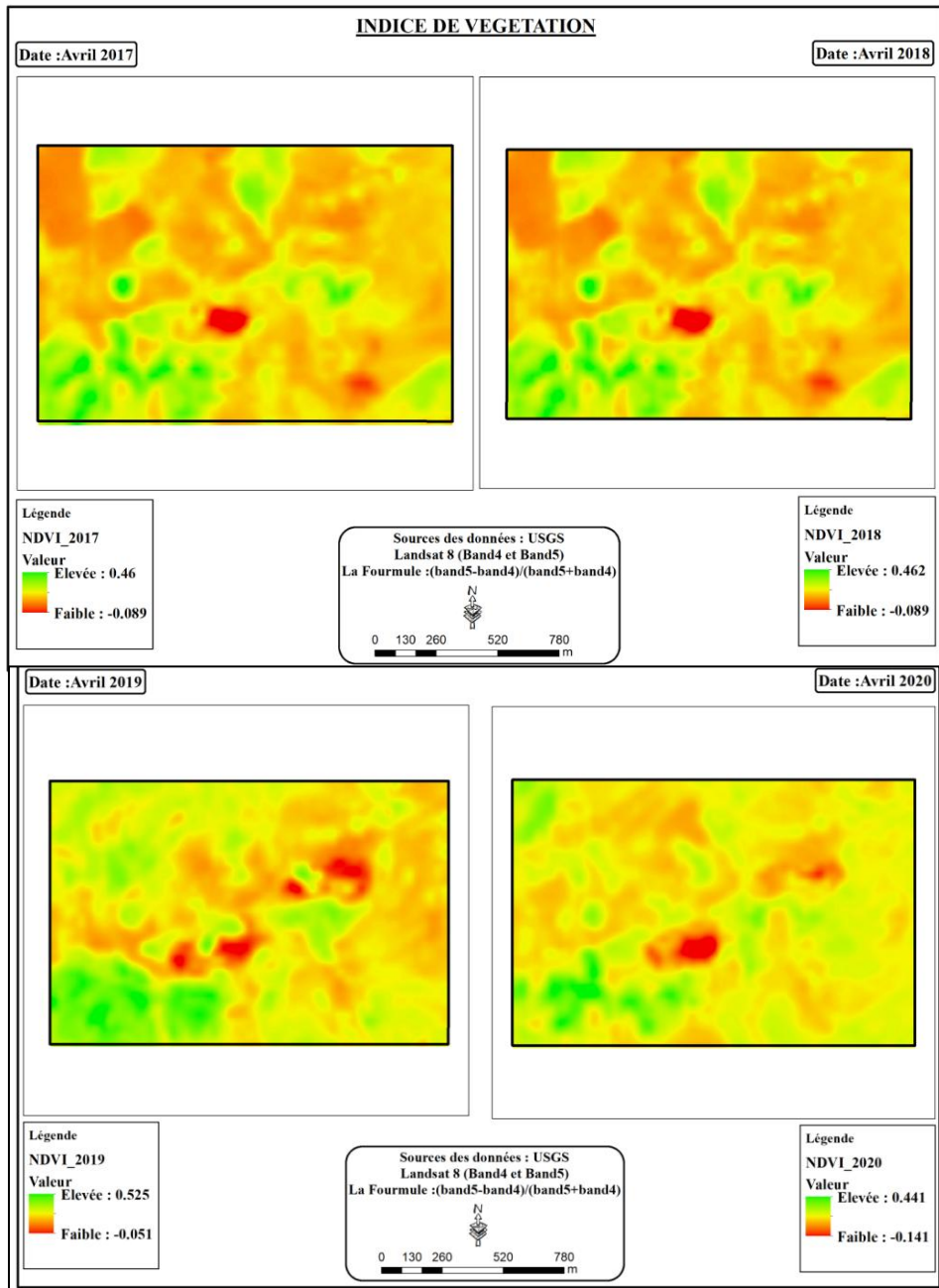


Fig. 3 - Cartes de l'NDVI pour les années 2017, 2018, 2019 et 2020 (marais de Madjen Bouhsane).

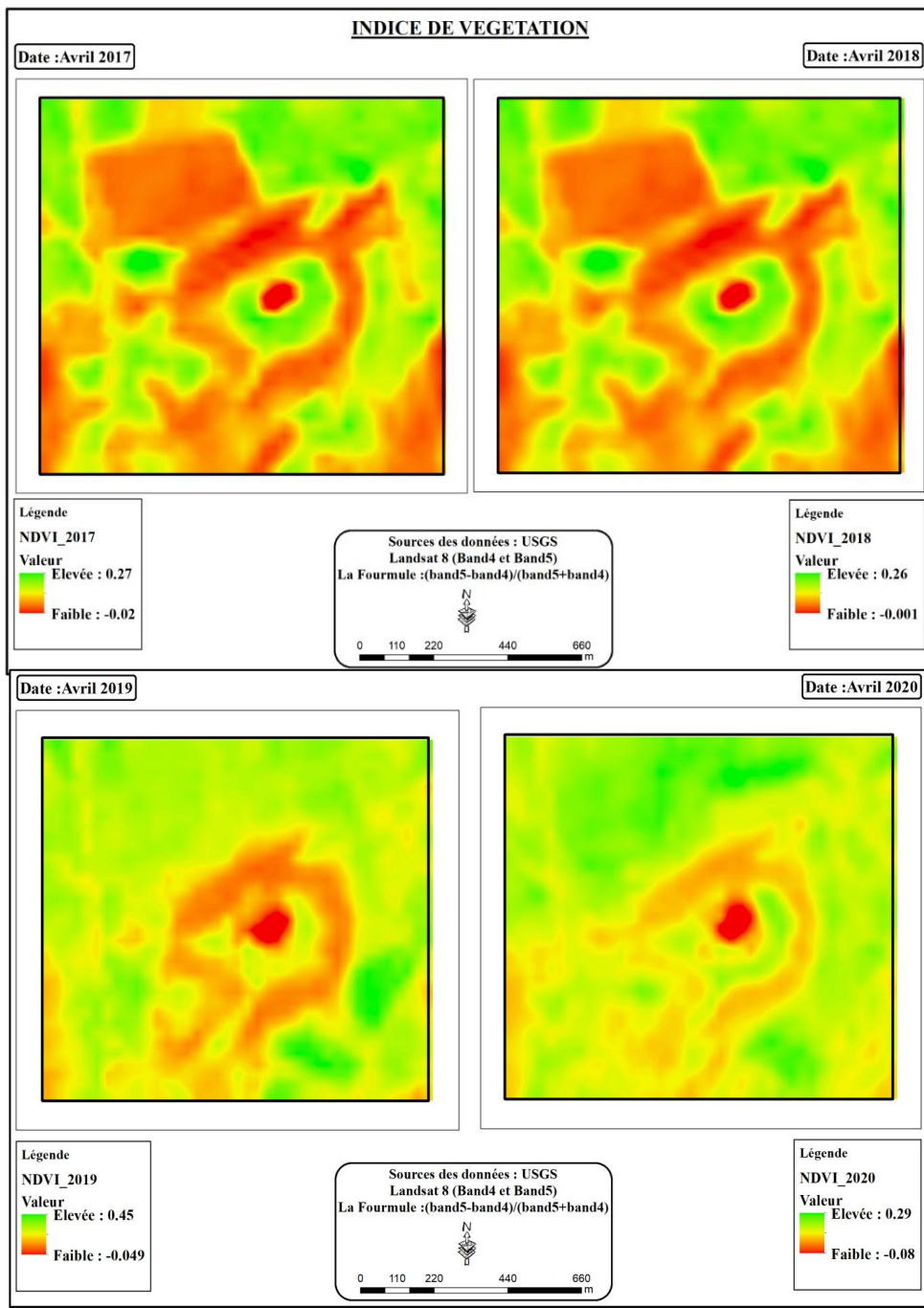


Fig. 4 - Cartes de l'NDVI pour les années 2017, 2018, 2019 et 2020 (marais de Mekeimen).

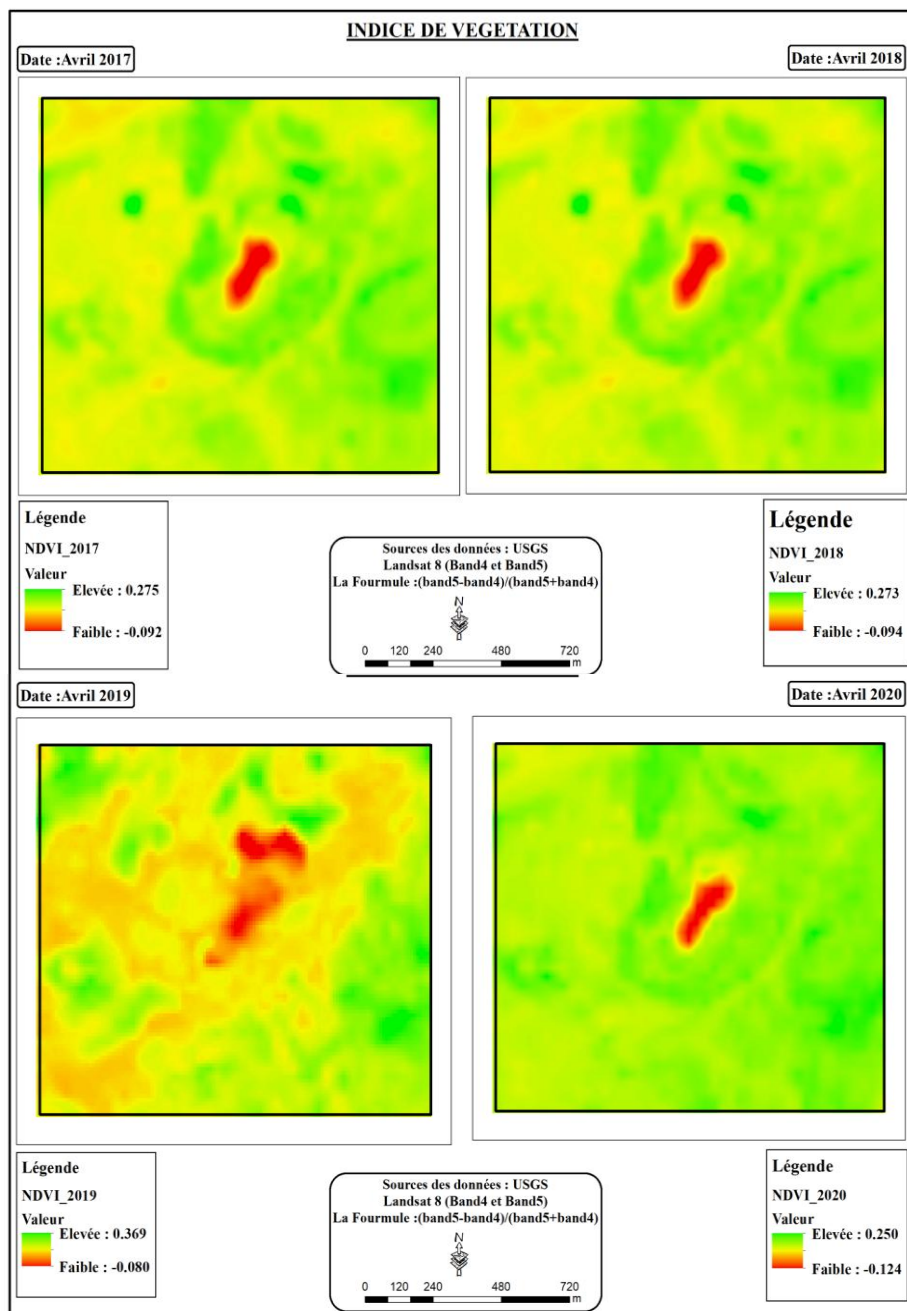


Fig. 5 - Cartes de l'NDVI pour les années 2017, 2018, 2019 et 2020
(marais de Madjen Djedi)

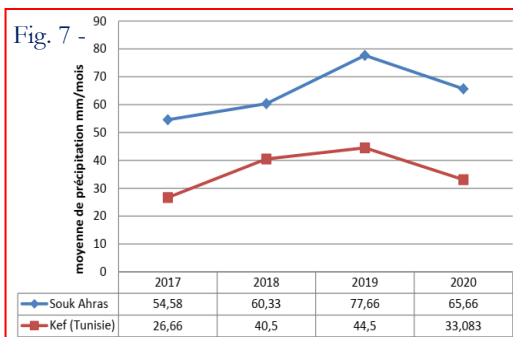
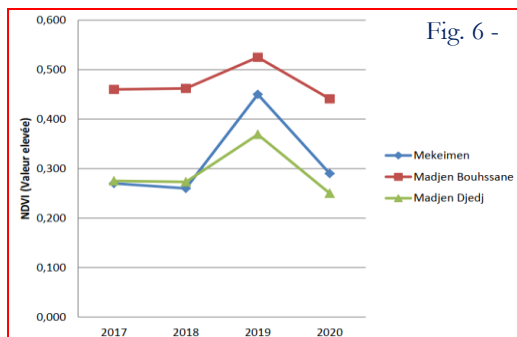


Fig. 6 - Valeurs de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI).

Fig. 7 - Précipitations moyennes mensuelles (mm) enregistrées sur une période d'observation de quatre ans allant de 2017 à 2020.

Les résultats montrent que le NDVI des zones humides de Souk-Ahras est fortement contrôlé par les précipitations. L'année 2019, avec les pluies les plus abondantes, présente les NDVI les plus élevés, tandis que les années sèches comme 2017, 2018 et 2020 montrent une baisse marquée. Cette tendance confirme que la disponibilité en eau est le facteur limitant principal pour la végétation de ces écosystèmes.

Nos résultats concordent avec les études algériennes : Yagoub (2015) [13], Mezrag (2018) [8] et Guechi (2021) [2] ont observé une forte dépendance du NDVI aux précipitations dans des zones humides similaires. Le marais de Bouhsane, caractérisé par une superficie plus importante et des sols plus fertiles, affiche des valeurs de NDVI supérieures, ce qui souligne le rôle déterminant de la taille du milieu et de la richesse édaphique dans la modulation de la réponse végétale.

À l'échelle internationale, Pei et al. (2019) [8] et Wang et al. (2021) [12] ont montré une forte corrélation NDVI-précipitations dans les régions arides et semi-arides de Chine. En Afrique subsaharienne, Pocard et Richard (1996) [9], Diello et al. (2005) [1] et Marteau (2006) [5] ont également documenté la sensibilité du NDVI aux pluies. Des études plus récentes, telles que Mohieldeen et al. (2025) [7], confirment que la variabilité locale (taille des marais, sol, hydrologie) influence l'amplitude et le délai de la réponse végétale aux précipitations. Ces résultats indiquent que, même si la pluie est le facteur principal, les conditions locales modulent la réponse du NDVI.

En synthèse, nos observations s'inscrivent dans un cadre global où le NDVI suit les précipitations, tout en soulignant l'importance de la taille du site, de la qualité du sol et de la dynamique hydrique. La combinaison de données satellitaires et de mesures locales permet d'obtenir une compréhension précise de la dynamique végétale et fournit une base pour la gestion durable des zones humides méditerranéennes.

CONCLUSION

L'analyse des marais naturelle de la région de Souk-Ahras à travers l'indice NDVI et les données de précipitations met clairement en évidence la dépendance étroite entre la dynamique végétative et la disponibilité en eau dans ces écosystèmes humides méditerranéens. Les résultats obtenus confirment pleinement les objectifs de ce travail, à savoir comprendre l'évolution du NDVI entre 2017 et 2020, déterminer dans quelle mesure cet indice reflète les variations pluviométriques, comparer cette relation avec les observations issues d'autres régions et, enfin, proposer des orientations pour une gestion durable. Les données montrent que l'année 2019, caractérisée par un régime pluviométrique nettement supérieur, présente des valeurs maximales de NDVI dans les trois marais étudiés, alors que les années plus sèches comme 2017, 2018 et 2020 se traduisent par une diminution nette de la biomasse végétale. Cette relation positive entre NDVI et précipitations s'aligne sur les résultats de nombreuses études nationales et internationales, confirmant que l'humidité du sol est le facteur déterminant du développement de la végétation dans les zones humides semi-arides. De plus, la comparaison entre les sites met en lumière l'influence des caractéristiques locales — taille du marais, nature du sol, structure de la végétation, dynamique hydrologique — qui modulent l'ampleur de la réponse écologique face aux précipitations. Ainsi, au-delà de

la simple influence de la pluie, ce travail démontre que les propriétés internes des marais déterminent leur résilience et leur capacité à capter et transformer les apports hydriques en biomasse. Dans ce contexte, l'utilisation combinée d'indices satellitaires comme le NDVI et de données météorologiques locales apparaît comme un outil essentiel pour suivre l'évolution des zones humides, anticiper les effets des variations climatiques et orienter les stratégies de conservation. Les résultats de cette étude soulignent enfin l'importance d'une gestion intégrée prenant en compte la variabilité climatique, la fragilité des sols humides et les spécificités écologiques propres à chaque site, afin d'assurer la préservation durable des zones humides méditerranéennes.

Références

- [1] Diello P, Mahe G, Paturel J, Dezetter A, Delclaux F, Servat E et Ouattara F. (2005). Relations indices de végétation-pluie au Burkina Faso : cas du bassin versant du Nakambé. *Journal des Sciences Hydrologiques*. 50(2): 207-221.
- [2] Guechi I, Gherraz H and Alkama D. (2021). Correlation analysis between biophysical indices and Land Surface Temperature using remote sensing and GIS in Guelma city (Algeria). *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*.
- [3] Guellati K, Maazi MC, Benradia M et Houhamdi M. (2014). Le peuplement d'oiseaux d'eau du complexe des zones humides de la wilaya de Souk-Ahras : état actuel et intérêt patrimonial. *Société zoologique de France*. 139p
- [4] Malki M. (2012). Plan de développement local 2013-2017 de la commune de Sidi-Fradj, élaboration de plan de développement local et lutte contre la pauvreté et l'exclusion des communes de Sidi-Fradj, Ouillen et Merahna, Daïra de Merahna, Wilaya de Souk-Ahras. *Rapport I*. 44p.
- [5] Marteau R. (2006). Sensibilité de la relation précipitations-NDVI (1981-1999) aux états de surfaces continentaux sur l'ouest du plateau sud-africain. *Ecole doctorale, Images et Modélisation des Objets Naturels*, Dijon.
- [6] Mezrag M. (2018). Dynamique environnementale des zones steppiques à Djelfa (Algérie): caractérisation par télédétection des changements du couvert végétal et des processus d'ensablement. *Doctoral dissertation, Université de Lyon*.
- [7] Mohieldeen, Y. E., & Hassan, M. M. (2025). Précipitations et dynamiques de la végétation et leur corrélation au Soudan et au Soudan du Sud, 1982-1994. *Sciences*, 13(2), 44-51.
- [8] Pei Z, Fang S, Yang W, Wang L, Wu M, Zhang Q, Han W and Khoi DN. (2019). The Relationship between NDVI and Climat Factors at Different Monthly Time Scales: A Case Study of Grasslands in Inner Mongolia, China (1982-2015). *Sustainability*. 11(7243): 1-17.
- [9] Poccarr I et Richard Y. (1996). Sensibilité du NDVI aux variations pluviométriques en Afrique tropicale. *Association Internationale de Climatologie*. 9: 41-48.
- [10] Rouse, J. W., Jr.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-I Symposium (Vol. 1, Sect. A, pp. 309-317)*. NASA SP-351
- [11] Touarfia M, Bouali N, Djoumaa A, Maazi MC and Houhamdi M. (2021). Influence of edaphic factors on the structure and distribution of plant species in and around Mekeiman Marsh Wetland, Northeast of Algeria. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 22(6).
- [12] Wang D, Zhang B, Zhu LL, Yang YS and Li MM. (2018). Soil and vegetation development along a 10 year restoration chrono sequence in tailing dams in the Xiaqingling gold region of Central China. *Catena*. 167: 250-256. DOI: 10.1016/05.007.
- [13] Yagoub H. (2015). Cartographie et suivi du couvert végétal des zones semi-arides par l'imagerie satellitaire. *Thèse Doctorat Es-Science, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Faculté de Physique*. 150p.
- [14] Zouaïdia H. (2006). Bilan des incendies de forêts dans l'Est algérien. Cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk-Ahras. *Mémoire de Magister en Ecologie Végétale, Université de Constantine*. 155p.

Pression de l'exploitation artisanale de l'or sur le fleuve Cavally, dans le périmètre de la mine d'Ity (Ouest, Côte d'Ivoire)

Franck Michaël Zahui¹, Jean-Marie Pétémanagnan Ouattara², Amichalé Jean Cyrille Bédal¹ and Lacina Coulibaly³

¹ Unité de Formation et de Recherche Ingénierie Agronomique Forestière et Environnementale (UFR-LAFE), Université de Man, Côte d'Ivoire,

² Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR-SGE), Université Nangui ABROGOUA, Côte d'Ivoire,

³ Unité de Formation et de Recherche Ingénierie Agronomique Forestière et Environnementale (UFR-LAFE), Université de Man, Côte d'Ivoire,

⁴ Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR-SGE), Université Nangui ABROGOUA, Côte d'Ivoire,

Résumé

En Côte d'Ivoire, les périmètres des industries minières aurifères sont la cible d'intrusions de la part d'exploitants artisanaux opérant illégalement. Cette situation perturbe les politiques des industrielles, qui restent soumises à des contrôles, alors que les activités artisanales échappent à tout contrôle en raison de leur caractère clandestin. Cette étude décrit les pratiques artisanales d'exploitation de l'or sur le fleuve Cavally, dans le périmètre de la mine aurifère d'Ity, à l'ouest de la Côte d'Ivoire, et évalue leurs impacts. Les données ont été collectées lors d'une visite de terrain de la section du Cavally, sur le périmètre de la mine, et à partir de la consultation des rapports de suivi de la qualité de l'eau du fleuve. Trois techniques sont utilisées sur le fleuve : la première, appelée « batée », consiste à mélanger des sédiments à de l'eau dans une calebasse ou une cuvette peu profonde, puis à agiter le mélange. Les matériaux légers sont emportés par l'eau tandis que l'or, plus lourd, se dépose au fond. La seconde consiste à draguer les sédiments du fleuve à l'aide d'une motopompe depuis une barque équipée d'un dispositif muni de tapis sur lequel les sédiments sont déversés afin de retenir l'or. La troisième méthode est similaire, à la différence que le groupe d'artisans est composé de plongeurs dont le rôle est de promener un tuyau aspirant les sédiments sous l'eau. Dans tous les cas, les sédiments traités sont immédiatement rejetés dans le fleuve. Les bones issues de ces techniques favorisent une hausse de la turbidité du fleuve, avec, par endroits, un envasement et une dégradation des berges. Cependant, en dehors des matières en suspension et du cuivre, les concentrations de cyanure, d'huiles et de graisses, d'arsenic et de cadmium, mesurées entre 2023 et 2024 sont globalement inférieures aux seuils de qualité.

Mots clés : Orpaillage, Environnement minier, Fleuve Cavally, Mine d'Ity, Côte d'Ivoire

Pressure from artisanal gold mining on the Cavally River, within the perimeter of the Ity mine (West, Ivory Coast)

Abstract

In Côte d'Ivoire, illegal artisanal miners are intruding on gold mining areas. This situation disrupts industrial policies, which remain subject to controls, while artisanal activities escape all control due to their clandestine nature. This study describes artisanal gold mining practices on the Cavally River within the perimeter of the Ity gold mine in western Côte d'Ivoire and evaluates their impact. Data were collected during a field visit to the mine perimeter by the Cavally River section and by consulting reports on river water quality monitoring. Three techniques are employed on the river. The first, known as 'panning', involves mixing sediment with water in a gourd or shallow basin and shaking the mixture. The lighter materials are carried away by the water, while the heavier gold particles settle at the bottom. The second technique involves dredging river sediments using a motor pump from a boat equipped with a device containing a mat onto which the sediments are poured to retain the gold. The third method is similar, except the group of artisans consists of divers who walk around with a hose that sucks up sediment from underwater. In all cases, the treated sediment is immediately discharged back into the river. The sludge produced by these techniques increases the turbidity of the river, causing silting and degradation of the riverbanks in some places. However, apart from suspended solids and copper, the concentrations of cyanide, oils and fats, arsenic and cadmium measured between 2023 and 2024 are generally below quality thresholds.

Keywords: Artisanal gold mining, Mining environment, Cavally River, Ity mine, Côte d'Ivoire

¹ Corresponding author: michael.zahui@univ-man.edu.ci

I. INTRODUCTION

Ces dernières décennies, la Côte d'Ivoire a connu un essor fulgurant de son secteur minier, grâce à d'importantes découvertes de gisements aurifères à travers le pays, favorisées par des réformes ayant créé un climat des affaires attractif pour les investisseurs étrangers [1; 2]. Parmi les découvertes les plus récentes (2024-2025), figurent notamment le gisement « Projet Koné », estimé à 155,5 tonnes d'or, dans le nord-ouest, le gisement de Doropo (plus de 100 tonnes) dans le nord-est, ainsi qu'un autre gisement de classe mondiale à Tanda (11 tonnes par an), dans la même zone. Toutefois, plusieurs mines d'or, longtemps en activité sur le territoire national, ont marqué le début de l'essor du secteur minier du pays, notamment celles de Bonikro, d'Agbaou et d'Angovia (au centre), de Tongon, de Sissingué et de Séguéla (au nord), ainsi que Grébeu et d'Ity (à l'ouest), pour ne citer que les plus représentatives [3 ; 4 ; 5].

Si le secteur minier est une source de développement socio-économique, il peut toutefois entraîner des nuisances environnementales et des risques pour la santé des populations. Il s'agit de la destruction du couvert végétal, l'épuisement des ressources en eau, ainsi que la pollution des sols, de l'air, des eaux de surface et des eaux souterraines par les produits chimiques utilisés pour traiter le minerai [4]. Pour pallier ces impacts, les activités minières sont encadrées par des codes miniers qui imposent une surveillance accrue des périmètres miniers, par le biais de contrôles effectués par les autorités chargées de l'environnement sur les sites miniers industriels. Cependant, si des contrôles sont effectués par les structures environnementales étatiques sur les sites miniers industriels, il n'en est pas de même pour les sites d'orpaillage, qui opèrent pour la plupart dans la clandestinité, notamment aux abords des mines industrielles ou sur leur périmètre [2 ; 6].

L'exploitation artisanale de l'or, ou « orpaillage », connaît en effet un essor considérable, attirée par les permis de mines industrielles. Cette activité est devenue une source de revenus cruciale, contribuant de manière significative à la production d'or. Cependant, l'orpaillage est souvent informel et peut entraîner, outre des problèmes sociaux et sécuritaires, une dégradation environnementale caractérisée par la dégradation des sols, la pollution de l'eau et l'érosion [2]. Cela pose donc des défis en matière de restauration des sites après la phase d'extraction, qui peuvent exposer les industries minières à des poursuites pour les pratiques exercées sur leurs permis. Il est donc essentiel de prendre en compte les effets de ces activités, d'autant qu'elles utilisent de manière anarchique des produits chimiques tels que le cyanure, le mercure, le zinc, l'acide sulfurique et l'acide nitrique [4 ; 7].

Dans le département de Zouan-Hounien, à l'ouest du pays, notamment autour de la mine d'Ity et de ses environs, l'inventaire des sites d'orpaillage réalisé par Coulibaly et al. [8] a permis d'identifier des pratiques artisanales d'exploitation de l'or dans le fleuve Cavally. Ces activités, qui s'effectuent dans le lit du fleuve, sont spécifiques à ce département et présentent un risque de dégradation de l'environnement immédiat ainsi que de contamination de ses eaux. Par ailleurs, dans cette partie du département, notamment dans la zone d'Ity-Floleu, une grande partie du fleuve se trouve dans le périmètre de la mine industrielle éponyme du village d'Ity [9 ; 10 ; 11]. Les nuisances liées à l'exploitation artisanale de l'or dans cette section du fleuve pourraient être imputées à la mine et nécessitent donc d'être circonscrites par celle-ci. C'est dans ce contexte que le présent travail se propose de décrire les pratiques artisanales d'exploitation de l'or sur le fleuve Cavally et d'évaluer leurs impacts. Il s'agit d'identifier les sites et de décrire les pratiques d'exploitation artisanale de l'or qui s'y exercent dans la section du fleuve située dans le périmètre de la mine, et de déterminer la qualité physique et chimique de l'eau.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Description de la zone d'étude

Cette étude a été menée sur la section du fleuve Cavally située dans le périmètre de la mine d'or d'Ity. Cette dernière est située à l'ouest de la Côte d'Ivoire, dans la région du Tonkpi, précisément dans le département de Zouan-Hounien, sur les terres du village éponyme, entre les latitudes 6° 52' 20" N et la longitude 8° 6' 33" W (Figure 1). Par rapport aux différentes capitales de la Côte d'Ivoire, la mine d'Ity se trouve à 680 km d'Abidjan (la capitale économique), à 450 km de Yamoussoukro (la capitale politique) et à 110 km de Man (le chef-lieu de région) [11].

Dans la zone d'Ity, le fleuve Cavally se trouve à 400 mètres à l'est des gisements d'or de la mine et coule du nord-est au sud-ouest. Dans cette zone, le tracé sinueux du fleuve Cavally traverse des berges encaissées hautes de 5 à 10 mètres [11].

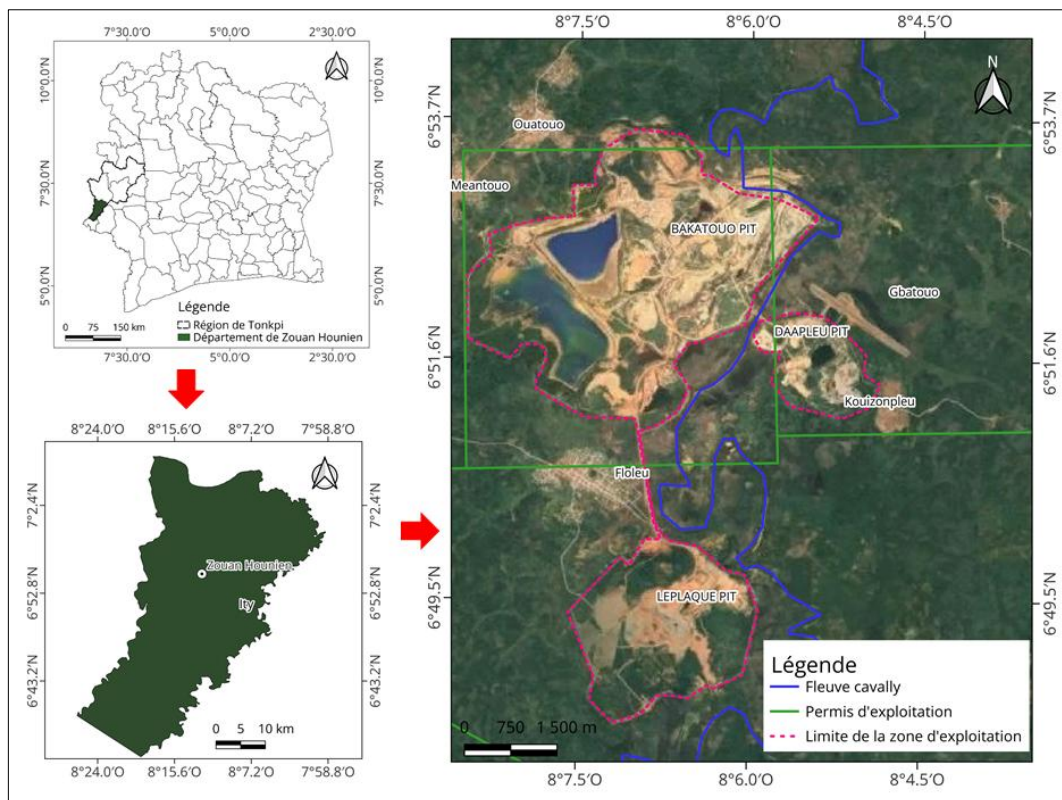


Figure 3 : Localisation de la zone d'étude

2.2. Collecte des données

La collecte des données s'est déroulée de janvier à avril 2025. Elle comprenait trois activités conjointes : l'observation sur le terrain lors d'une visite guidée du tronçon du fleuve Cavally situé dans le périmètre de la mine d'Ity, la réalisation d'une enquête auprès des artisans et la consultation des rapports d'activités de la mine relatifs au suivi de la qualité de l'eau du fleuve.

2.2.1. Identification des sites et description des pratiques d'orpaillage sur le Cavally

Pour identifier les sites et examiner les pratiques d'orpaillage sur le lit du fleuve, une visite a été effectuée le long du tronçon situé dans le périmètre de la mine. L'objectif était de dresser l'inventaire des sites où l'activité est pratiquée et de mener une enquête auprès des artisans afin de comprendre les méthodes employées. Les coordonnées géographiques de chacun des sites ont été relevées à l'aide d'un GPS de type Garmin afin de les géolocaliser, et des prises de vue ont été réalisées à l'aide d'un appareil photo pour illustrer les observations effectuées, notamment sur l'aspect du plan d'eau et de ses berges, le matériel utilisé par les orpailleurs, etc. Les entretiens ont permis de recueillir des informations sur l'activité d'orpaillage, notamment sur la technique employée, le matériel utilisé et l'utilisation de produits chimiques.

2.2.2. Détermination de la qualité de l'eau du Cavally

Pour évaluer la qualité de l'eau du fleuve, une approche a consisté à consulter les rapports des activités de suivi de la qualité du Cavally menées par la mine d'Ity. Ces données concernaient celles recueillies au cours des années 2023 et 2024, et portaient sur les matières en suspension, le cyanure, les huiles et graisses, l'arsenic, le cadmium et le cuivre, qui sont les paramètres suivis par la mine.

2.3. Analyse des données

Pour réaliser la carte montrant la répartition des sites d'orpaillage sur le tronçon du fleuve Cavally situé dans le périmètre de la mine d'Ity, les coordonnées géographiques de ces sites, enregistrées lors des visites guidées ont été utilisées. Ces coordonnées ont ensuite été saisies dans le logiciel QGIS 3.14.16, qui a permis de créer une carte géoréférencée au moyen du système de coordonnées WGS 84.

Les données recueillies lors des entretiens ont ensuite été codifiées. Les réponses qualitatives, qui étaient attendues sous forme de « oui » ou de « non », ont été transcrites dans un fichier Excel, puis traduites en informations. Une réponse « oui » a été codée « 1 » et une réponse « non » « 0 ». De cette manière, les fréquences ont pu être calculées pour les sites d'orpaillage sur le fleuve. Les sites ont été classés en fonction de la technique d'exploitation employée. Les données quantitatives ont, quant à elles, été organisées en fonction de leur apparition et regroupées (par exemple, le nombre d'exploitants sur chaque site).

Les fréquences relatives de chaque variable ont été calculées à l'aide de l'équation 1 [12].

$$F = \frac{X}{Y} \times 100 \quad (1)$$

Avec :

F : fréquence (%) ;

X : nombre de sites dans la catégorie en question ;

Y : nombre total de site d'orpaillage.

Les données d'observation consistaient en des photographies représentant les différents types d'informations recherchées (le matériel d'exploitation, l'aspect du fleuve et de ses berges, etc.). Ces photographies ont été regroupées afin de sélectionner les plus illustratives pour le manuscrit.

S'agissant des données de suivi de la qualité de l'eau du fleuve Cavally, collectées par les agents de la mine d'Ity durant les années 2023 et 2024, celles-ci ont été présentées en tenant compte des saisons sèches (décembre et mars) et humides (juin et septembre), puis comparées aux seuils de qualité fixés par l'arrêté n° 01164 du 4 novembre 2008 du Centre ivoirien d'antipollution [13], ainsi qu'au système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau établi par le MEDD & Agences de l'eau [14]. Pour la dernière, afin de représenter la qualité physicochimique, des classes caractéristiques sont illustrées par une couleur particulière :

- Classe de qualité excellente : bleue
- Classe de qualité bonne : verte
- Classe de qualité moyenne : jaune
- Classe de qualité mauvaise : violette
- Classe de qualité très mauvaise : rouge

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Pratique de l'orpaillage sur le plan du fleuve Cavally

La pratique de l'orpaillage sur le lit du fleuve Cavally est manifeste, comme en témoignent les visites effectuées le long du tronçon situé dans le périmètre de la mine d'Ity. Neuf (9) sites d'orpaillage ont été identifiés dans la zone (Figure 2). Ce mode de recherche de l'or dans la localité est l'une des particularités du département, comme le mentionnent Coulibaly et al. [8]. En effet, dans les autres localités du pays, les orpailleurs sont soit dans les alluvions, dans les parties superficielles des terres, soit à la recherche du filon, plus en profondeur, pour le concasser et en retirer l'or [7 ; 15 ; 16]. Si des plans d'eau sont utilisés pour l'orpaillage dans certaines localités (comme à Hiré ou à Bouaflé), ces eaux ne sont que pompées par les orpailleurs pour être utilisées dans le processus de lavage du minerai, après le concassage des roches, ou pour le lavage simple des alluvions et des vases dans les bas-fonds. Toutefois, dans ces localités, l'activité se pratique dans les environs des plans d'eau [17].

Sur l'ensemble des neufs (9) sites, on dénombre 21 groupes d'artisans répartis en quatre (4) entités en fonction de la technique d'orpaillage utilisée (Tableau I). Il s'agit d'artisans utilisant :

- des dragues fixes équipées de plongeurs en pleine eau (28,6%);
- des dragues ambulantes (38,1%);
- la technique de la batée (19%);
- des systèmes de rampe équipés de tapis au niveau des berges du fleuve (14,3%).

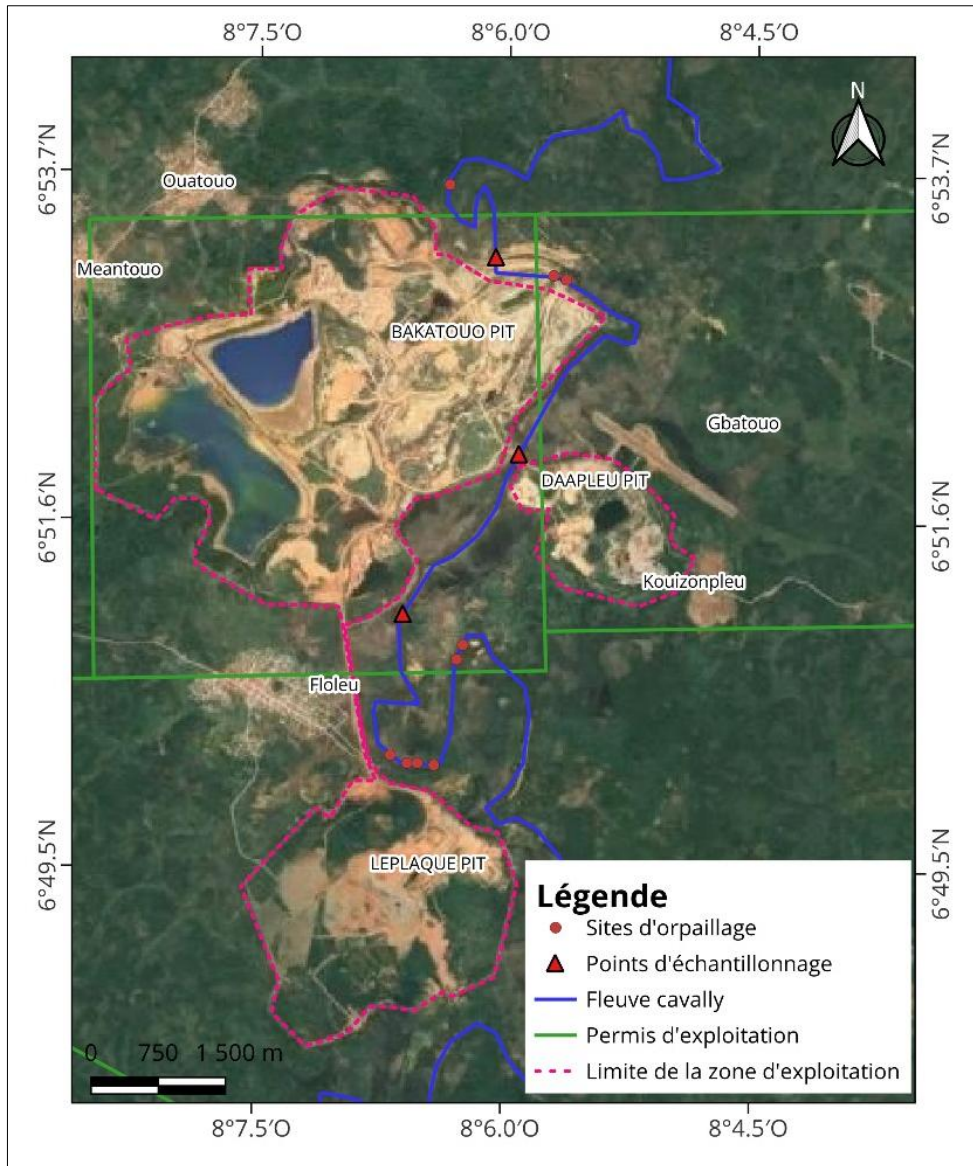


Figure 4: Répartition des sites de pratique de l'orpaillage sur le tronc du fleuve dans la mine d'Ity.

Comme le montre le tableau I, la drague est la technique la plus utilisée dans la région, dans 66,7 % des cas, soit 14 groupes composés au total de 300 personnes, ce qui représente plus de 90 % des orpailleurs. Ces derniers expliquent cette prédominance par la rentabilité de la technique et le fait qu'elle demande moins d'efforts physiques que les autres procédés, comme la batée ou la recherche sur les berges du fleuve à l'aide de tapis, de pelles, etc. Selon Maiga *et al.* [18], la recherche d'or par drague est également largement pratiquée au Mali, notamment sur la rivière Baoulé, dans la commune rurale de Kémékafo, dans la région de Dioila, pour les mêmes raisons évoquées dans la présente étude. Toutefois, l'exploitation aurifère par drague sur les cours d'eau est autorisée par la législation malienne. Elle est même soumise au contrôle des autorités municipales et coutumières afin de prévenir d'éventuelles dérives [18].

Tableau I: Nombre de groupes d'orpailleurs et d'artisans associés.

Type d'activité	Effectif des groupes d'artisans	Effectif des artisans
Dragues fixes avec plongeurs	6	120
Dragues mobiles	8	180
Technique de la batée	4	12
Rampe de tapis au niveau des berges	3	20
Total	21	332

Les dragues sont en effet des engins mécaniques destinés à curer les fonds des fleuves, tandis que la batée est une technique d'orpaillage qui consiste à utiliser un récipient conique pour séparer l'or des sédiments plus légers à l'aide de mouvements circulaires dans l'eau. Le processus consiste à remplir le récipient de vase et d'eau, puis à effectuer des rotations pour évacuer les matières légères et concentrer les particules lourdes, comme l'or, au fond [18 ; 19]. Quant aux systèmes de rampe équipés de tapis, ils sont utilisés par les orpailleurs à la place des calebasses, sur les berges.

La figure 3 illustre un site d'orpaillage grouillant de monde, avec diverses méthodes de pratique de l'activité sur le lit du fleuve Cavally.



Figure 5 : Illustration d'un site d'orpaillage sur le lit du fleuve Cavally.

Dans le périmètre de la mine d'Ity, les différentes méthodes d'exploitation de l'or dans le lit du fleuve Cavally font appel à des techniques spécifiques. La batée, une technique qui reste dominée par les habitants de la région, est pratiquée dans les amoncellements de sable formés par endroits sur le cours du fleuve, comme le montre la figure 4. Cette technique est principalement utilisée par des femmes accompagnées de leurs enfants. Elle consiste à mélanger des sédiments et de l'eau dans un récipient (calebasse ou cuvette peu profonde), puis à agiter le mélange dans l'eau de manière circulaire. Les matériaux légers, constitués de sable et d'autres détritiques, sont emportés par l'eau, tandis que l'or, plus lourd, se dépose au fond du récipient. Cette technique est beaucoup utilisée dans le périmètre de la mine, vers le village de Floleu (Figure 2), et aucun produit chimique n'est utilisé par les artisans sur le plan d'eau. Ce qui limite les risques de pollution

chimique des eaux du fleuve dus à cette pratique de l'orpaillage. Cette observation a également été recueillie par Coulibaly et al. [8] auprès d'orpailleurs pratiquant la même technique (la batée) dans la même zone d'étude, mais dans des zones de bas-fonds, loin du fleuve. Cependant, Kouadio [7] a montré que, quelle que soit la technique utilisée pour l'orpaillage, l'extraction du concentré d'or se fait à l'aide de produits chimiques tels que le mercure. Ainsi, même si les produits ne sont pas utilisés sur le fleuve Cavally et ses environs, le risque de contamination de l'environnement demeure en aval de cette activité, dans la région de la mine d'Ity. Il convient d'adopter une approche plus globale de toute la chaîne d'exploitation artisanale dans la zone d'Ity.



Figure 6: Pratique de la batée en plein lit du fleuve Cavally, Ity, Zouan-Hounien, Côte d'Ivoire

L'exploitation par drague dans la zone d'Ity se fait à l'aide d'une machine disposée sur une barque pouvant être fixe ou mobile sur le fleuve Cavally. Cette machine sert à extraire le sédiment aurifère du fond du fleuve à l'aide d'un tuyau appelé « la suceuse » par les artisans, et relié au fond du cours d'eau. Les barques fixes sont accompagnées dans leur tâche par des plongeurs qui positionnent le tuyau d'aspiration au fond de l'eau (voir la figure 5A). Le mélange de sédiments et d'eau aspiré par la suceuse est alors acheminé vers une rampe de lavage (sluice) disposée sur l'une des berges du fleuve (Figure 5B). Les matériaux légers sont emportés par l'eau tandis que des tapis disposés au fond de la rampe retiennent les particules d'or plus lourdes. Tout comme pour la batée, aucun produit chimique n'est utilisé lors de cette technique.



Figure 5 : Exploitation artisanale de l'or à l'aide de barques fixes avec des plongeurs sur le fleuve Cavally : A = extraction du minéral ; B = lavage du minéral.

Pour ce qui concerne les barques mobiles, le positionnement du tuyau d'aspiration des sédiments au fond du fleuve est assuré par une tige métallique dotée d'une manche en surface. À la différence des barques fixes, le mélange de sédiments et d'eau aspiré par la suceuse est acheminé en surface sur une rampe disposée non loin de la machine (voir la figure 6). Les tapis disposés sur le fond de la rampe piègent les particules d'or plus lourdes, tandis que les matériaux légers sont renvoyés dans le fleuve. Si, à l'instar de la batée, aucun produit chimique n'est utilisé sur le fleuve, les risques de pollution chimique de l'eau restent évidents dans les techniques de dragage, avec le risque d'intrusion accidentelle d'huiles de moteur et de carburant dans le fleuve. Cette assertion est renforcée par les travaux de Maiga et al. [18]. En effet, leurs

travaux ont révélé que le dragage dans la commune rurale de Kémékafo (région de Dioila, au Mali) avait pollué l'eau du Baoulé et provoqué la disparition de plusieurs espèces aquatiques (poissons, crocodiles, hippopotames, plantes, etc.) en raison de l'utilisation de gasoil et d'huiles vidangées.



Figure 7 : Exploitation par dragage à l'aide de barque mobile sur le fleuve Cavally

Quant à la technique utilisant une rampe contenant des tapis au niveau des berges du fleuve Cavally (voir la figure 7), elle consiste à creuser le sédiment du fond à ce niveau du fleuve pour l'épandre à la surface de la rampe. Une fois distribué, le sédiment est malaxé tout en recevant des jets d'eau afin de permettre à l'or qu'il contient d'être retenu par le tapis. Cette technique n'implique ni l'utilisation de machines, ni celle de produits chimiques sur les berges du fleuve. Le concentré d'or obtenu est recueilli pour une extraction ultérieure dans les villages environnants, notamment l'ity et Floleu. Le seul risque encouru est la destruction physique des berges du fleuve, ce qui entraîne indiscutablement la destruction de l'habitat de la biodiversité locale et altère la qualité physique de l'eau du fleuve (turbidité, matières en suspension, couleur, etc.). Des pratiques similaires, avec les mêmes conséquences, sont signalées par Koné et al. [20], qui ont rendu les eaux de la Falémé, à Kéniéba (Mali), chargées en matières en suspension et de couleur trouble.



Figure 8 : Orpailleurs utilisant une rampe pour la recherche de l'or sur les berges du fleuve Cavally

3.2. Impacts visuels de l'orpaillage sur le fleuve Cavally

Sur le tronçon du fleuve Cavally situé dans le périmètre de la mine d'Ity, l'orpaillage menace l'intégrité physique du plan d'eau. Les boues provenant des dragues créent par endroits des amas de sable (envasement) à la surface du fleuve et dégradent sa couleur. Par ailleurs, on observe la dégradation des berges du fleuve et la présence d'huile à la surface de l'eau (voir la figure 8). Ces observations confirment les conclusions de Maiga et al. [18] concernant les effets des machines utilisées pour la drague, notamment l'utilisation de gasoil et les opérations de vidange des huiles de moteur lors de

l'entretien des machines, sur le fleuve. Ces observations sont de nature à perturber l'écosystème aquatique et à réduire la surface du plan d'eau [20]. Il convient donc de prendre des dispositions pour protéger l'intégrité de ce plan d'eau. Les actions devront aller au-delà de la simple surveillance de la qualité chimique de l'eau, comme cela est exigé de la mine, qui effectue des prélèvements réguliers pour des analyses dont les résultats sont consultés par les autorités en charge de l'environnement.



Figure 8 : illustration de l'état de dégradation du fleuve Cavally causé par les activités d'orpaillage : A & B = envasement, C = dégradation des berges du fleuve, D = présence d'huile à la surface de l'eau.

3.3. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau du fleuve Cavally

La surveillance de la qualité de l'eau du fleuve Cavally est effectuée de l'amont à l'aval de la section appartenant au périmètre de la mine d'Ity, en trois points situés à proximité des villages de Bakatouo, Daapleu et Floleu (voir la figure 2). Cette surveillance est saisonnière et prend en compte les saisons sèches (décembre et mars) et les saisons des pluies (juin et septembre). Les paramètres suivis sont les matières en suspension (MES), les cyanures totaux, les cyanures libres, les WAD cyanure, les huiles et graisses, ainsi que les concentrations d'arsenic (As), de cadmium (Cd) et de cuivre (Cu) (Tableaux 2 et 3). Cependant, en raison de la configuration des stations de prélèvement d'échantillons d'eau, seules les stations de Bakatouo (en amont) et de Daapleu (au milieu) ont été retenues pour la présente étude, car les deux stations en aval (Daapleu et Floleu) fourniront des informations similaires. En effet, l'investigation des sites d'activité d'orpaillage n'a révélé aucune pratique d'orpaillage entre ces deux stations. Les activités observées n'ont lieu qu'après la station de Floleu (Figure 2). Par conséquent, il convient que la mine installe une station après les activités observées, un peu plus en aval de la station de Floleu.

Les résultats concernant la qualité de l'eau du fleuve (voir les tableaux II et III) montrent que, mis à part les MES et le cuivre, les concentrations des autres paramètres sont inférieures aux seuils de qualité, et ce, quelle que soit l'année (2023 et 2024) et la période d'échantillonnage (saisons sèches et saisons des pluies). Cette situation s'explique par le fait que les techniques pratiquées sur le plan d'eau ne nécessitent pas l'utilisation de produits chimiques. L'or est obtenu après un simple lavage du minerai dans l'eau du fleuve. Les concentrations de MES enregistrées au-delà du seuil de 50 mg/L (73 mg/L à Daapleu et 57 mg/L à Bakatouo) sont dues au lavage des sédiments contenant le minerai dans le fleuve Cavally. Les concentrations élevées de cuivre, supérieures au seuil de 0,05 mg/L (0,0706 mg/L, 0,0706 mg/L et 10,6 mg/L à Bakatouo, et 0,226 mg/L et 21,2 mg/L à Daapleu), sont indiscutablement dues au fond géochimique de la zone, en raison de la forte présence de cuivre dans le minerai de la région [11 ; 21]. En effet, la campagne de prospection qui a permis de découvrir le gisement d'or dans la région d'Ity était initialement consacrée au cuivre par le Bureau minier de la France d'outre-mer (BUMIFOM) dans les années 1950, ce qui témoigne de la présence de cuivre dans le minerai de cette zone [11 ; 22].

En se basant sur la classification de la qualité de l'eau selon son usage [14], les concentrations de matières en suspension, d'huiles et de graisses, de cyanures et de cuivre font de l'eau du fleuve Cavally une eau de qualité moyenne à mauvaise dans cette partie de son cours, à proximité de la mine d'Ity (Tableaux A1 et A2). Cette situation, en dehors des concentrations de MES, d'huiles et de graisses et de cuivre, justifiées par l'orpaillage et le fond géochimique, est attribuable aux activités de la mine pour ce qui concerne les cyanures. Par ailleurs, Coulibaly et al. [8] ont enregistré l'utilisation de cyanure en quantité incontrôlée par les orpailleurs dans la zone, à proximité du fleuve, ce qui pourrait, par le biais du ruissellement, contaminer le plan d'eau.

En somme, les impacts de l'orpaillage sur le fleuve Cavally sont perceptibles à travers la dégradation de son aspect visuel et la décoloration de l'eau due à la mise en suspension des sédiments. Cette situation compromet gravement la vie dans le milieu aquatique ainsi que son esthétique [18 ; 23]. Par conséquent, les autorités minières et étatiques, en collaboration avec les communautés locales, doivent prendre des mesures appropriées pour restaurer et protéger le milieu aquatique affecté par l'exploitation minière artisanale, car cette activité peut, à long terme, entraîner la contamination de l'eau, la dégradation des écosystèmes et la disparition de plusieurs espèces aquatiques (poissons, crocodiles, hippopotames, plantes, etc.), comme l'ont constaté Maïga et al. [18] dans la rivière Baoulé, dans la commune rurale de Kémékafé, dans la région de Dioïla, au Mali.

Tableau II : Résultats de l'analyse d'échantillons d'eau prélevés dans le fleuve Cavally, au niveau du village de Bakatouo, en 2023 et 2024

Paramètres (mg/L)	Bakatouo 2023				Bakatouo 2024				Seuils de qualité (arrêté N° 01164, 2008)
	Saison sèche		Saison de pluie		Saison sèche		Saison de pluie		
	Décembre	Mars	Juin	Septembre	Décembre	Mars	Juin	Septembre	
MES	<5	44	57	57	17	23	-	-	50
Cyanures totaux	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,028	<0,020	<0,020	<0,020	0,1
Cyanure libre	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,024	<0,020	<0,020	<0,020	0,1
WAD cyanure	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,025	<0,020	<0,020	<0,020	0,1
Huiles et graisses	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	<0,5	<0,5	<0,5	10
Arsenic (As)	0,0106	<0,005	0,0124	0,0124	<0,0001	<0,005	<0,005	-	10
Cadmium (Cd)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,0005	<5	-	≤0,05
Cuivre (Cu)	0,0033	0,0706	0,0706	<0,002	<0,005	<0,005	10,6	-	≤0,05

Tableau III : Résultats d'analyses d'échantillons d'eau prélevés sur le fleuve Cavally au niveau du village de Daapleu en 2023 et 2024.

Paramètres (mg/L)	Daapleu 2023				Daapleu 2024				Seuils de qualité (arrêté N° 01164, 2008)
	Saison sèche		Saison de pluie		Saison sèche		Saison de pluie		
	Décembre	Mars	Juin	Septembre	Décembre	Mars	Juin	Septembre	
MES	26	73	30	<5	17	09	09	07	50
Cyanures totaux	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,020	0,021	<0,020	<0,020	0,1
Cyanure libre	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	0,1
WAD cyanure	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	0,1
Huiles et graisses	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	<0,5	<0,5	5,5	10
Arsenic (As)	0,0058	<0,005	0,0131	<0,005	<0,0001	<0,005	<5	-	10
Cadmium (Cd)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	<0,005	<0,0005	<0,5	-	≤0,05
Cuivre (Cu)	0,226	0,0122	-	0,0122	<0,005	<0,005	21,2	-	≤0,05

CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en lumière la pression exercée par l'activité d'orpaillage sur le fleuve Cavally, dans sa section située dans le périmètre de la mine d'Ity, à l'ouest de la Côte d'Ivoire. Il en ressort que 332 artisans, répartis en 21 groupes et établis sur neuf sites, se distinguent selon le type de pratique : les utilisateurs de dragues fixes équipées de plongeurs, les utilisateurs de dragues mobiles, ceux de la technique de la batée et ceux des berges du fleuve utilisant des rampes équipées de tapis. La technique de drague est toutefois la plus utilisée, avec plus de 90 % d'artisans. L'orpaillage sur le fleuve Cavally menace son intégrité physique, avec, par endroits, des amas de sable à la surface (envasement), une dégradation de la couleur de l'eau et des berges, ainsi que la présence d'huile de moteur à la surface. La qualité de l'eau du fleuve est surveillée par la mine, de l'amont à l'aval de la section appartenant à son périmètre, à trois endroits situés à proximité des villages de Bakatouo, Daapleu et Floleu. Cette surveillance saisonnière tient en compte des saisons sèches (décembre et mars) et des saisons des pluies (juin et septembre). Cependant, la configuration des stations de surveillance ne prend pas en compte la répartition des orpailleurs sur le fleuve, ce qui limite la capacité à évaluer tous les impacts. Il ressort toutefois que, mis à part les MES et le cuivre, les concentrations des paramètres suivis sont inférieures aux seuils de qualité de référence de la mine, quelle que soit l'année (2023 ou 2024) ou la période d'échantillonnage (saison sèche ou saison des pluies). Cependant, les concentrations de MES, d'huiles et de graisses, de cyanures et de cuivre font de l'eau du fleuve Cavally une eau de qualité moyenne à mauvaise dans cette partie de son cours, à proximité de la mine d'Ity. Par conséquent, les autorités minières et étatiques, en collaboration avec les communautés locales, devront prendre des mesures appropriées pour restaurer et protéger le milieu aquatique affecté par l'exploitation minière artisanale. De plus, des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer la qualité écosystémique du plan d'eau.

Références

- [1] T. Sauerwein, Gold mining and development in Cote d'Ivoire: trajectories, opportunities and oversights. *Land Use Policy*, 91 (2020) 104323. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104323>.
- [2] J. Gourdon, H. Lapeyronie, Le potentiel minier de l'Afrique : Panorama, enjeux et défis. Editions Agence française de développement, 19, Hors-série, (2024) 978-2-37902-016-2. hal-04741999.
- [3] Z. Ouattara, Y. Coulibaly, F. Lieben, Pétrographie du gisement d'or de Bonikro, sillon birimien d'oume - fettékro, cote d'ivoire. *European Scientific Journal*, 11, (2015) 1857 – 7881.
- [4] K. J. A. Kouame, F. Jiang, Y. Feng, S. Zhu, The Strengthening of Geological Infrastructure, Research and Data Acquisition - Using Gis in Ivory Coast Gold Mines, MATEC Web of Conferences, 95 (2017).
- [5] M. P. K. Aidingra, Y. A. Koffi, N. N. Houssou, Z. Ouattara, T. K. L.-D. Boya, M. E. Allialy, Multi-Scale Approach for Gold Targeting in Côte d'Ivoire Paleoproterozoic Rocks. *Open Journal of Geology*, 14 (2024) 155-176. <https://doi.org/10.4236/ojg.2024.142010>.
- [6] K. H. Konan, D. M. Amalaman, Le code minier ivoirien à l'épreuve de l'orpaillage clandestin : le cas de Fodio, Pougbe et Ziévasso au Nord de la Côte d'Ivoire. *La revue des Sciences Sociales Kafoudal*, 3 (2021) 20-30.
- [7] L. M. Kouadio, Contribution à l'évaluation des niveaux de contamination des eaux et des sols des sites d'orpaillage clandestin et élimination des métaux (Hg, Pb, Cd) et de l'arsenic des eaux polluées, à l'aide des argiles de Côte d'Ivoire. Mémoire de doctorat de l'université Felix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2023) p 23.
- [8] S. L. Coulibaly, F. M. Zahui, L. C. Mangoua-Allali, A. Cherif, L. Coulibaly, Artisanal Mining Practice and Physical Impacts on the Environment in the Ity-Floleu Gold Region, Côte d'Ivoire. *International Journal of Environment and Climate Change*, 11 (2021) 17-31. <https://doi.org/10.9734/ijec/2021/v11i1130513>.
- [9] MOGED (Maîtrise des Outils de Gestion de l'Environnement pour le Développement) Impact de l'exploitation de la mine d'or d'Ity sur la population et l'environnement de la région (Côte d'Ivoire). Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD), Québec, Canada. (2015) p 4.
- [10] K. S. Konan, K. L. Kouassi, K. F. Konan, A. S. Yapo, L. A. Brou, Impacts de l'orpaillage sur la morphologie et la qualité des eaux du fleuve Cavally (Zouan-hounien, Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 28 (2020) 515-524.
- [11] K. S. Gbamélé, Evaluation de la pollution chimique dans l'environnement minier aurifère de la sous-préfecture de Zouan-Hounien (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, (2022) p 222.
- [12] A. Agresti, Statistical methods for the social sciences. 4th. Ed., Boston: Pearson (2018).
- [13] CIAPOL (Centre Ivoirien d'AntiPollution), ARRETE N° 01164 du 04 Novembre 2008 portant Réglementation des Rejets et Emissions des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, (2008) p 22.
- [14] MEDD & Agences de l'eau, Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau. Grilles d'évaluation SEQ- Eau (Version 2), (2003) p 40.
- [15] A.S. Affessi, K. G. J.-C. Koffi, M. Sangare, Impacts sociaux et environnementaux de l'orpaillage sur les populations de la région du Bounkani (Cote D'ivoire). *European Scientific Journal*, 12 (2016) 288-306. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n26p288>
- [16] D. Goh, L'exploitation Artisanale De L'or En Côte D'ivoire: La Persistance D'une Activité Illégale., *European Scientific Journal* January 12, (2016) 18-36, <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n3p18>
- [17] A.J.C. Beda, P. J. M. Ouattara, A. Messou, L. Coulibaly, Waste management of the artisanal mining area in Côte d'Ivoire and associated environmental and health impacts. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 7 (2017) 980-991.
- [18] F. Maiga, T. A. Oumarou, A. Diya, I. Ouattara, S. Doumbia, Les effets de l'orpaillage par drague sur la biodiversité aquatique de l'affluent Baoulé dans la commune rurale de Kémékafo, région de Dioula. *Revue Africaine Des Sciences Sociales Et De La Santé Publique*, 4 (2022) 38-47.

[19] R. Petit-Roulet, Effets du développement et de la transformation de l’orpaillage sur les dynamiques foncières en Guinée. Comité Technique "Foncier et développement" (AFD-MEAE). (2023) hal-04572379, p 124.

[20] H. Koné, F. K. Yaro, M.M. Traoré, A. S. Diarra, S. Ba, Impact de l’orpaillage sur la qualité des eaux de la Falémé à Kéniéba, Mali. Afrique SCIENCE, 25(2024) 102 – 117

[21] Y. B. Koffi, K. E. Ahoussi, A. M. Kouassi, J. Biemi, Ressources minières, pétrolières et gazières de la Côte d’Ivoire et problématique de la pollution des ressources en eau et des inondations, Geo-Eco-Trop., 38 (2014) 119-136.

[22] BRGM, Bureau de Recherches Géologique et Minière. La gestion de l’eau des mines, 2 (2005) p 6.

[23] Y. C. Kouakou, A. Toure, A. Fall, K. S. Bredou, Impact de l’orpaillage sur la Comoé et la santé humaine dans le district de Bettié, Côte d’Ivoire. Revue d’Épidémiologie et de Santé Publique, 70 (2022) S181. <https://doi.org/10.1016/j.respe.2022.06.141>

Annexes

Tableau A1 : Classe de qualité des échantillons d'eau prélevés sur le fleuve Cavally au niveau du village de Daapleu en 2023 et 2024

Paramètres (mg/L)	Bakatouo 2023				Bakatouo 2024				Classe de qualité
	Saison sèche		Saison de pluie		Saison sèche		Saison de pluie		
	Décembre	Mars	Juin	Septembre	Décembre	Mars	Juin	Septembre	
MES	<5	44	57	57	17	23	-	-	Excellente- bonne - moyenne
Cyanures totaux	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,028	<0,020	<0,020	<0,020	Excellente- mauvaise
Cyanure libre	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,024	<0,020	<0,020	<0,020	Excellente- mauvaise
WAD cyanure	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,025	<0,020	<0,020	<0,020	Excellente- mauvaise
Huiles et graisses	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	<0,5	<0,5	<0,5	Excellente
Arsenic (As)	0,0106	<0,005	0,0124	0,0124	<0,0001	<0,005	<0,005	-	Excellente
Cadmium (Cd)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,0005	<5	-	Excellente
Cuivre (Cu)	0,0033	0,0706	0,0706	<0,002	<0,005	<0,005	10,6	-	Excellente- moyenne –mauvaise

Tableau A2 : Classe de qualité des échantillons d'eau prélevés sur le fleuve Cavally au niveau du village de Daapleu en 2023 et 2024.

Paramètres (mg/L)	Daapleu 2023				Daapleu 2024				Classe de qualité
	Saison sèche		Saison de pluie		Saison sèche		Saison de pluie		
	Décembre	Mars	Juin	Septembre	Décembre	Mars	Juin	Septembre	
MES	26	73	30	<5	17	09	09	07	Excellente- bonne - moyenne
Cyanures totaux	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,020	0,021	<0,020	<0,020	Excellente
Cyanure libre	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	Excellente
WAD cyanure	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	Excellente
Huiles et graisses	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	<0,5	<0,5	5,5	Excellente- bonne
Arsenic (As)	0,0058	<0,005	0,0131	<0,005	<0,0001	<0,005	<5	-	Excellente
Cadmium (Cd)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	<0,005	<0,0005	<0,5	-	Excellente
Cuivre (Cu)	0,226	0,0122	-	0,0122	<0,005	<0,005	21,2	-	Excellente- moyenne –mauvaise

Effet préventif de l'extrait éthanolique des cladodes de cactus (*Opuntia ficus-indica*) sur les dommages oxydatifs rénaux induits par le méthotrexate chez des rats Wistar.

Amira Akacha¹, Riadh Badraoui², Tarek Rebai³ and Lazhar Zoungui

¹Laboratoire de Neurophysiologie Fonctionnelle et Pathologie, Faculté des Sciences de Tunis, Université de Tunis El Manar, Tunis, Tunisie

²Unité d'Histologie – Cytologie, Faculté de Médecine de Tunis, Université de Tunis, Tunisie

³Laboratoire d'histo-embryologie and cytogenétique, Faculté de médecine de Sfax, Université de Sfax, Tunisie.

⁴Institut Supérieur de Biologie Appliquée de Médenine (ISBAM), Université de Gabès, Tunisie

Résumé

Cette étude visait à évaluer les effets protecteurs d'un extrait de cactus contre la néphrotoxicité induite par le méthotrexate (MTX) et les perturbations oxydatives chez un modèle expérimental de rat. Les rats ont été répartis en quatre groupes : un groupe contrôle, un groupe traité par MTX seul, un groupe traité par extrait de cactus seul et un groupe traité par MTX et extrait de cactus. La fonction rénale a été évaluée par le dosage de biomarqueurs du stress oxydatif. Un examen histopathologique du tissu rénal a été réalisé. L'administration de MTX a induit une néphrotoxicité significative, mise en évidence par une élévation des biomarqueurs du stress oxydatif. L'analyse histopathologique a confirmé une réduction des lésions rénales dans le groupe traité par l'extrait de cactus. L'extrait de cactus présente des effets néphroprotecteurs significatifs contre la toxicité induite par le méthotrexate, préservant la fonction rénale. Ces résultats confirment son potentiel en tant que traitement adjuvant pour atténuer les complications rénales chez les patients sous traitement par méthotrexate.

Mots clés : *Opuntia ficus-indica*, méthotrexate, stress oxydant, néphrotoxicité

Preventive effect of ethanolic extract of cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes on methotrexate-induced oxidative damage of the kidney in Wistar rats.

Abstract

This study aimed to evaluate the protective effects of a cactus extract against methotrexate (MTX)-induced nephrotoxicity and oxidative disturbances in an experimental rat model. The rats were divided into four groups: a control group, a group treated with MTX alone, a group treated with cactus extract alone, and a group treated with both MTX and cactus extract. Renal function was assessed by measuring oxidative stress biomarkers. A histopathological examination of the kidney tissue was performed. The administration of MTX induced significant nephrotoxicity, demonstrated by an increase in oxidative stress biomarkers. Histopathological analysis confirmed a reduction in kidney lesions in the group treated with the cactus extract. The cactus extract has significant renoprotective effects against methotrexate-induced toxicity, preserving kidney function. These results confirm its potential as an adjuvant treatment to mitigate renal complications in patients undergoing methotrexate therapy.

Key Words: *Opuntia ficus-indica*, methotrexate, oxidative stress, nephrotoxicity

¹ Corresponding author: amiraakacha20@gmail.com

I. INTRODUCTION

Le méthotrexate (MTX) représente une pierre angulaire dans les protocoles chimiothérapeutiques et immunosuppresseurs. Il est largement utilisé dans la prise en charge des tumeurs malignes et de diverses affections non néoplasiques, notamment le psoriasis, la polyarthrite rhumatoïde et certaines maladies infectieuses [1]. Malgré son efficacité clinique bien établie, l'application thérapeutique du MTX est considérablement limitée par sa néphrotoxicité dose-dépendante. Cet effet indésirable résulte de multiples mécanismes, impliquant principalement une cristallisation intratubulaire et des lésions directes de l'épithélium tubulaire, conduisant souvent à une insuffisance rénale aiguë et perturbant les fonctions rénales critiques [2]. La reconnaissance croissante des lésions rénales induites par le MTX a stimulé la recherche sur les adjuvants protecteurs susceptibles d'atténuer ces effets néfastes tout en préservant ses bénéfices thérapeutiques.

Le potentiel néphrotoxique du MTX représente un défi clinique important, particulièrement dans les protocoles à fortes doses où sa précipitation dans les tubules rénaux peut provoquer une obstruction mécanique et des lésions cellulaires directes. De plus, il a été démontré que le MTX induit un stress oxydatif via la génération d'espèces réactives de l'oxygène, entraînant une peroxydation lipidique et une apoptose cellulaire dans les tissus rénaux [3]. Ces mécanismes contribuent collectivement à une altération du débit de filtration glomérulaire, une réduction du flux sanguin rénal et, in fine, à une insuffisance rénale aiguë. L'identification de stratégies néphroprotectrices efficaces représente donc un besoin clinique urgent en oncologie et en rhumatologie.

Parallèlement aux développements pharmaceutiques, on observe un regain d'intérêt scientifique pour les produits naturels et les aliments fonctionnels pour leurs rôles potentiels dans la prévention des maladies et la promotion de la santé. La tendance mondiale vers les thérapeutiques naturelles est motivée par leur sécurité perçue, leur rentabilité et leur approche multi-cibles de la prise en charge des maladies. Parmi ceux-ci, *Opuntia ficus-indica*, un membre de la famille des Cactacées, s'est imposé comme un candidat particulièrement prometteur. Cette espèce végétale, indigène des régions arides et semi-arides, possède une riche histoire d'utilisation ethnobotanique parmi les populations amérindiennes et mexicaines, servant à la fois de nourriture de base et de médecine traditionnelle pour diverses affections [4].

Le potentiel thérapeutique d'*O. ficus-indica* est étayé par sa composition phytochimique diversifiée, incluant des composés bioactifs tels que les bêta-lainés, les caroténoïdes, l'acide ascorbique et des dérivés flavonoïdes, qui contribuent tous à ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires significatives [5]. Les bêta-lainés, en particulier, ont démontré une activité remarquable de piégeage des radicaux libres et des effets anti-inflammatoires dans divers modèles expérimentaux. L'action synergique de ces phyto-constituants confère à *O. ficus-indica* un mécanisme d'action multifacette qui pourrait être particulièrement pertinent pour diminuer les lésions organiques induites par les médicaments. La recherche scientifique contemporaine a validé plusieurs applications traditionnelles d'*O. ficus-indica*, en se concentrant particulièrement sur ses cladodes qui ont démontré une efficacité potentielle dans la prise en charge des troubles métaboliques, y compris l'hyperglycémie, le diabète et ses complications [6]. Les cladodes consommés comme légumes frais et incorporés dans diverses préparations culinaires [7], contiennent un mélange complexe de composés bioactifs pouvant conférer des effets protecteurs contre les lésions organiques via de multiples voies, incluant la réduction du stress oxydatif et la modulation de l'inflammation. Des études récentes ont en outre élucidé le rôle des composés du cactus dans la modulation des voies apoptotiques et le renforcement des mécanismes de défense antioxydants cellulaires.

La justification de l'étude d'*O. ficus-indica* en tant qu'agent néphroprotecteur potentiel contre les lésions rénales induites par le MTX découle de plusieurs considérations. Premièrement, les propriétés antioxydantes avérées des composés du cactus pourraient directement contrer le stress oxydatif induit par le MTX dans les tissus rénaux. Deuxièmement, son activité anti-inflammatoire pourrait atténuer la cascade inflammatoire initiée par le MTX dans le parenchyme rénal. Troisièmement, des études antérieures ont démontré les effets protecteurs d'extraits de cactus contre la néphrotoxicité induite par d'autres agents chimiothérapeutiques, comme le cisplatine [8] suggérant une applicabilité plus large dans les lésions rénales induites par la chimiothérapie.

Compte tenu du profil néphrotoxique avéré du MTX et des propriétés bioactives documentées d'*O. ficus-indica*, cette étude vise à investiguer systématiquement les effets réno-protecteurs potentiels de l'extrait de cactus contre les lésions rénales induites par le MTX en utilisant une approche expérimentale complète. Nous émettons l'hypothèse que les propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires inhérentes à *O. ficus-indica* pourraient atténuer la néphrotoxicité médiée par le MTX via la préservation de la fonction rénale et de l'intégrité histo-architecturale. Spécifiquement, cette recherche évaluera les effets modulateurs de l'extrait de cactus sur les altérations induites par le MTX concernant, les paramètres de stress oxydatif, les marqueurs inflammatoires et les changements histopathologiques dans le tissu rénal.

Cette recherche vise à contribuer au paradigme en développement de l'oncologie intégrative en explorant les adjuvants dérivés de produits naturels qui pourraient améliorer le profil de sécurité des agents chimiothérapeutiques conventionnels. Les résultats pourraient avoir des implications significatives pour la pratique clinique, offrant potentiellement une nouvelle stratégie pour prévenir ou atténuer la néphrotoxicité induite par le MTX, améliorant ainsi les résultats pour les patients et leur qualité de vie pendant la chimiothérapie. De plus, cette étude vise à fournir une validation scientifique pour l'usage traditionnel d'*O. ficus-indica* dans la prise en charge de diverses affections, comblant ainsi le fossé entre les savoirs traditionnels et la médecine fondée sur les preuves.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Produits chimiques

Le méthotrexate, l'acide thiobarbiturique (TBA), l'acide trichloroacétique (TCA) et le butyl-hydroxytoluène (BHT) ont été fournis par Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO, États-Unis). La 2,4-dinitro-phénylhydrazine (2,4-DNPH) et la guanidine ont été acquises auprès de Prolabo (France). Tous les autres réactifs et produits chimiques utilisés étaient de qualité analytique.

2.2. Préparation de l'extrait de cladodes de cactus

Des cladodes jeunes (2-3 semaines) d'*Opuntia ficus-indica* ont été récoltés dans la région de Sfax, Tunisie orientale (coordonnées GPS : 34°44'32.3"N 10°31'50.0"E). Après lavage et découpage, les cladodes ont été séchés à l'air ambiant. La poudre obtenue a ensuite été soumise à une extraction par l'éthanol pur, suivie d'une double filtration sur papier Whatman (GF/A, 110 mm). L'extrait éthanolique a été concentré à l'évaporateur rotatif sous vide à 25 °C, puis stocké à 4 °C en attendant son utilisation.

2.3. Protocole expérimental et traitement des animaux

L'étude a été conduite sur des rats Wistar mâles adultes (poids moyen de 220 g) provenant de l'animalerie SEXAL (St. Doulchard, France), avec l'approbation du Comité National d'Éthique Médicale (CNEM, Institut Pasteur de Tunis). Après une semaine d'acclimatation dans des conditions standardisées (cycle lumière/obscurité, température et humidité contrôlées), avec un accès libre à l'eau et à la nourriture, les rats ont été répartis aléatoirement en quatre groupes (n=6/groupe) :

Groupe Témoin (CTRL) : a reçu une injection quotidienne de solution saline physiologique pendant 10 jours.

Groupe Cactus : a reçu une injection quotidienne d'extrait éthanolique de cactus (400 mg/kg au total) pendant 10 jours.

Groupe MTX : a reçu une injection unique de méthotrexate (20 mg/kg) le 8ème jour.

Groupe MTX + Cactus : a reçu une injection unique de MTX le 8ème jour, associée à un traitement quotidien par l'extrait de cactus pendant 10 jours.

Toutes les substances (MTX, extrait de cactus et solution saline) ont été administrées par voie intrapéritonéale en un volume de 50 mL. Les doses et la durée du traitement ont été sélectionnées sur la base de données bibliographique antérieure [9]. Au terme des 10 jours de traitement, les animaux ont été

sacrifiés par décapitation sous anesthésie générale. Le sang a été prélevé pour analyse biochimique. Les reins ont été destinés aux analyses biochimiques et histologiques.

2.4. Préparation des extraits testiculaires

Les reins ont été préparés pour les analyses histologiques et biochimiques selon un protocole standardisé. Chaque échantillon a été homogénéisé dans du Tris-HCl 10 mM (pH 7,4) puis centrifugé à 4°C pendant 30 minutes à 4000 tr/min. Les surnageants, recueillis après centrifugation, ont été conservés à -20°C pour le dosage ultérieur des paramètres de stress oxydatif.

2.5. Dosage de la peroxydation lipidique

La peroxydation lipidique a été évaluée par la mesure des taux de malondialdéhyde (MDA) selon la méthode de Buege et Aust (1987) [10]. Le principe repose sur la formation d'un complexe coloré entre le MDA et l'acide thiobarbiturique, dont l'intensité est mesurée par spectrophotométrie à 530 nm. Les concentrations de MDA ont été calculées en utilisant un coefficient d'extinction molaire de $1,56 \times 10^2 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$.

2.6. Dosage des protéines carbonylées

Le taux de protéines carbonylées a été déterminé selon le protocole basé sur la réaction des groupements carbonyles avec le DNPH. L'absorbance des dérivés hydrazones formés a été mesurée à 370 nm, avec un coefficient d'extinction molaire de $22,0 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ pour le calcul des concentrations.

2.7. Mesure de l'activité catalase

L'activité catalase a été déterminée en suivant la disparition du peroxyde d'hydrogène à 240 nm, selon la méthode standard. L'activité enzymatique a été exprimée en μmol de H_2O_2 décomposé par minute et par mg de protéines, utilisant un coefficient d'extinction de $0,04 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$.

2.8. Mesure de l'activité glutathion peroxydase

L'activité GPx a été mesurée selon la méthode au guaiacol, suivant l'augmentation d'absorbance à 470 nm. L'activité enzymatique a été calculée en utilisant un coefficient d'extinction molaire de $26,2 \text{ mM}^{-1}$ et exprimée en nmol de substrat transformé par minute.

2.9. Mesure de l'activité superoxyde dismutase

L'activité SOD a été déterminée selon la méthode de Durak [11], basée sur l'inhibition de la réduction du NBT. Une unité d'activité SOD correspond à la quantité d'enzyme inhibant 50% de la réduction du NBT.

2.10. Analyse histopathologique

Pour chaque rat, des échantillons de tissu rénal ont été fixés dans du formol à 10%, puis inclus en paraffine. Des coupes de $5 \mu\text{m}$ d'épaisseur ont été réalisées à l'aide d'un microtome standard et colorées à l'hématoxyline-éosine (H-E). L'examen microscopique des lames a été réalisé en simple aveugle sous microscope optique Leica, permettant une évaluation objective des altérations tissulaires.

2.11. Analyse statistique

L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL). Les données sont présentées sous forme de moyenne $\pm$ écart-type pour six déterminations indépendantes. Les différences entre les groupes ont été évaluées par analyse de variance (ANOVA) unidirectionnelle, suivie du test post hoc de Newman-Keuls. Le seuil de significativité statistique a été fixé à $p < 0,05$ pour toutes les analyses.

3. RÉSULTATS

3.1. Évaluation du statut de stress oxydatif

3.1.1. Dosage du malondialdéhyde : peroxydation lipidique

Le taux de malondialdéhyde (MDA) a été mesuré dans les homogénats de testicules comme marqueur de la peroxydation lipidique. Les résultats montrent une augmentation statistiquement significative des taux de MDA dans le groupe traité au MTX comparé au groupe témoin. Cependant, le traitement avec l'extrait de cactus a prévenu cette élévation, ramenant les valeurs de MDA à des niveaux similaires à ceux du groupe témoin.

3.1.2. Dosage des protéines carbonylées : oxydation protéique

Les résultats de l'oxydation protéique suivent la même tendance que ceux du MDA. Les niveaux de protéines carbonylées (PC) sont significativement plus élevés ($p < 0,05$) dans le groupe MTX que dans le groupe témoin. Le traitement combiné avec le cactus (MTX + cactus) a significativement empêché cette augmentation. Le traitement avec le cactus seul n'a induit aucune modification significative par rapport au groupe témoin.

3.1.3. taux des marqueurs du stress oxydatif (catalase, GPx, SOD et PC)

le tableau I présente les effets du MTX et de l'extrait de cladodes sur les activités de la catalase (CAT), de la GPx, la SOD et des protéines carbonylées. Le MTX a induit une diminution marquée de l'activité de la catalase dans les reins. Le traitement avec l'extrait de cactus a permis une amélioration significative de l'activité catalase comparé au groupe traité au MTX seul ($p < 0,05$)

L'activité totale de la GPx a diminué dans le groupe MTX par rapport aux témoins, mais s'est normalisée avec le traitement au cactus ($p < 0,05$).

De plus, l'administration de MTX a causé une diminution significative de l'activité de la SOD. La combinaison avec l'extrait de cactus a permis une augmentation significative de l'activité antioxydante de la SOD ($p < 0,05$). Le taux des protéines carbonylées (PC) a montré une élévation suite à l'administration du MTX, alors que son administration associée au cactus a permis sa diminution.

3.2. Résultats histopathologiques :

L'analyse histologique des coupes de tissu rénal a révélé des altérations morphologiques distinctes entre les groupes expérimentaux. Le groupe témoin présentait un parenchyme rénal normal, caractérisé par des glomérules et des tubules bien structurés, sans signe pathologique.

En revanche, les rats traités au méthotrexate (MTX) ont développé des lésions rénales sévères, incluant une vacuolisation marquée des cellules épithéliales des tubules proximaux, une dilatation tubulaire importante et un décollement de l'épithélium tubulaire ainsi que des foyers d'infiltration leucocytaire à prédominance de polynucléaires neutrophiles. La présence de ces infiltrats inflammatoires atteste d'un processus inflammatoire actif induit par le MTX.

De manière significative, le groupe traité avec l'extrait de cactus a présenté une architecture rénale comparable au groupe témoin, sans altérations histopathologiques notables. Cette observation démontre que l'administration du cactus a exercé un effet protecteur remarquable, prévenant efficacement les lésions rénales normalement induites par le MTX. (figure 1)

4. DISCUSSION

Dans notre étude, l'administration du méthotrexate aux rats a provoqué une néphrotoxicité. Ces résultats sont similaires à ceux publiés par des études antérieures [12]. Potentiellement la toxicité du méthotrexate peut survenir suite à la fois d'un traitement à forte et faible dose. Une néphrotoxicité significative est associée à des doses élevées de MTX ce qui peut avoir des effets préjudiciables sur la fonction rénale par l'intermédiaire de deux mécanismes. Tout d'abord, MTX précipite dans les tubules rénaux, induisant

directement une lésion tubulaire, d'autre part, il induit une transitoire baisse du taux de filtration glomérulaire après chaque dose et un risque de dysfonctionnement rénal [13].

La peroxydation lipidique est l'effet le plus anciennement connu des radicaux libres et le plus simple à mesurer, les dérivés de l'oxydation lipidique sont les composés les plus souvent étudiés lorsque l'on recherche un stress oxydant [14]. Le stress oxydant est caractérisé par les ROS qui induisent la peroxydation lipidique. Le MDA est un produit secondaire généré au cours de l'oxydation des acides gras polyinsaturés [15]. La peroxydation lipidique contient une série de processus de réaction en chaîne radicalaires libres et est également associée à plusieurs types de dommages biologiques. Le rôle des radicaux libres et des ROS est de plus en plus reconnu dans la pathogenèse de nombreuses maladies humaines, y compris le cancer, le vieillissement et l'athérosclérose [16]. La peroxydation lipidique est aujourd'hui reconnue comme une réaction extrêmement importante dans les processus physiologiques et toxicologiques. Les hydroperoxydes lipidiques formés par l'attaque des radicaux libres sur les résidus d'acides gras polyinsaturés des phospholipides peuvent encore réagir avec les métaux redox (comme Fe^{2+} , Fe^{3+}), produisant finalement un malondialdéhyde mutagène et cancérogène [17].

Şener et al [18] ont montré que l'administration MTX provoque un stress oxydant révélé par l'augmentation du MDA dans les intestins, le foie et les reins qui est un marqueur de la peroxydation lipidique. Une autre étude a démontré aussi que l'administration de MTX entraîne une augmentation du taux du MDA dans le rein et d'autres tissus [19].

Le fait que les concentrations de MDA étaient plus élevées dans les tissus du groupe MTX, cela reflète la gravité de la peroxydation des lipides dans la membrane cellulaire [20]. La peroxydation lipidique est une réaction où les radicaux libres d'oxygène et les acides gras polyinsaturés génèrent des produits tels que des peroxydes, des alcools et MDA.

La catalase est un groupe d'enzymes tetramérique, chaque unité portant une molécule d'hème et une molécule de NADPH. Cette enzyme prévient les molécules biologiques induites par l'eau oxygénée. La catalase a donc pour rôle d'accélérer la réaction spontanée de dismutation de H_2O_2 en oxygène et en eau. Les résultats montrent une diminution significative de l'activité de la CAT, la GPx et la SOD ($P < 0,05$), au niveau du tissu hépatique, rénal, testiculaire, ovarien et intestinal chez les rats traités par le methotrexate (20 mg/kg) tout en comparant aux rats témoins. En revanche, nous n'enregistrons aucune différence statistiquement significative de l'activité enzymatique de toutes les enzymes (CAT, GPx et SOD) chez les rats traités par le cactus par rapport aux rats témoins. Nos résultats sont en accord avec des études précédentes qui ont démontré une altération de l'activité antioxydante des enzymes étudiées après l'administration du MTX [21].

Puisque le MTX est connu pour provoquer un stress oxydant dans les cellules, plusieurs paramètres indiquant le statut antioxydant ont également été examinés. Le stress oxydant dans la cellule peut être induit soit par une production accrue de ROS ou l'inhibition du système de défense antioxydant. Cet équilibre entre la production et le catabolisme des oxydants est essentiel pour le maintien de l'intégrité biologique des tissus [22]. Les enzymes antioxydantes (SOD, GPx et CAT) limitent les effets des molécules oxydantes dans les tissus et jouent un rôle dans la défense contre les dommages oxydatifs cellulaires étant piègeurs de radicaux libres. La glutathion peroxydase, la superoxyde dismutase et la catalase constituent mutuellement une équipe de soutien de défense contre les ROS. De petites déviations dans les concentrations physiologiques pourraient avoir des effets considérables sur la résistance des lipides cellulaires, des protéines et de l'ADN aux dommages oxydatifs [23].

Nos résultats ont montré une diminution de l'activité de la GPx, SOD et la CAT dans les tissus étudiés. Étant donné que ces enzymes ont un rôle protecteur contre les dommages induits par les radicaux libres, leur induction pourrait être comprise comme une réponse adaptative au stress oxydant. [24]

La diminution dans les activités de la GPx et la CAT chez les rats traités par le methotrexate dans notre étude peut être due à l'accumulation intracellulaire des ROS. La même explication a été donnée par Miyazono et al en 2004, il a démontré une augmentation de la production des radicaux libre d'oxygène après traitement de MTX, et ces radicaux libres peuvent mener à une déficience fonctionnelle de la mitochondrie. La toxicité causée par MTX est caractérisée par l'activation de la réponse inflammatoire et sensiblement une très grande production des cytokines pro- inflammatoires [25].

Selon Miyazono et al 2004 [26], la diminution de l'activité enzymatique de la catalase peut refléter une réduction de la capacité des mitochondries et des microsomes d'éliminer le H₂O₂ produit en réponse au MTX. Le cycle d'oxydoréduction du glutathion fait intervenir deux enzymes essentielles la glutathion réductase (GR) qui transforme le glutathion oxydé (GSSG) en sa forme réduite (GSH) et la glutathion peroxydase (GPx), qui active la réaction de transformation des hydroperoxydes en alcools primaires. Ce système enzymatique contient également la glutathion S-transférase (GST) qui catalyse la réaction de conjugaison entre le glutathion réduit (GSH) et les substances étrangères (xénobiotiques, carcinogènes et composés électrophiles...) avec la formation des métabolites glutathion-conjugués [27]

Pour évaluer des dommages oxydatifs induit par MTX chez des rats Wistar, la production de protéines dcarbonylées a été aussi étudiée. La Carbonylation des protéines est un signe de dommages oxydatifs irréversible, conduisant souvent à une perte de la fonction des protéines, qui peuvent avoir des effets durables néfastes sur les cellules et les tissus [28]. En présence d'EOA, les protéines peuvent se dénaturer, se fragmenter ou perdre leurs structures primaire et secondaire. Les dommages oxydatifs au niveau des protéines (et des acides aminés).

La glutathion peroxydase, la superoxyde dismutase et la catalase constituent mutuellement une équipe de soutien de défense contre les ROS. De petites déviations dans les concentrations physiologiques pourraient avoir des effets considérables sur la résistance des lipides cellulaires, des protéines et de l'ADN aux dommages oxydatifs [29].

Nos résultats ont montré une diminution de l'activité de la GPx, SOD et la CAT dans le tissu étudié. Étant donné que ces enzymes ont un rôle protecteur contre les dommages induits par les radicaux libres, leur induction pourrait être comprise comme une réponse adaptative au stress oxydant [30]

La diminution dans les activités de la GPx et la CAT chez les rats traités par le methotrexate dans notre étude peut être due à l'accumulation intracellulaire des ROS. La même explication a été donnée par Miyazono et al en 2004, il a démontré une augmentation de la production des radicaux libre d'oxygène après traitement de MTX, et ces radicaux libres peuvent mener à une déficience fonctionnelle de la mitochondrie. La toxicité causée par MTX est caractérisée par l'activation de la réponse inflammatoire et sensiblement une très grande production des cytokines pro- inflammatoires [31]

Selon Miyazono [32], la diminution de l'activité enzymatique de la catalase peut refléter une réduction de la capacité des mitochondries et des microsomes d'éliminer le H₂O₂ produit en réponse au MTX.

Le cycle d'oxydoréduction du glutathion fait intervenir deux enzymes essentielles la glutathion réductase (GR) qui transforme le glutathion oxydé (GSSG) en sa forme réduite (GSH) et la glutathion peroxydase (GPx), qui active la réaction de transformation des hydroperoxydes en alcools primaires. Ce système enzymatique contient également la glutathion S-transférase (GST) qui catalyse la réaction de conjugaison entre le glutathion réduit (GSH) et les substances étrangères (xénobiotiques, carcinogènes et composés électrophiles...) avec la formation des métabolites glutathion-conjugués [33]

Pour évaluer des dommages oxydatifs induit par MTX chez des rats Wistar, la production de protéines dcarbonylées a été aussi étudiée. La Carbonylation des protéines est un signe de dommages oxydatifs irréversible, conduisant souvent à une perte de la fonction des protéines, qui peuvent avoir des effets durables néfastes sur les cellules et les tissus [34]

En présence d'EOA, les protéines peuvent se dénaturer, se fragmenter ou perdre leurs structures primaire et secondaire. Les dommages oxydatifs au niveau des protéines (et des acides aminés) peuvent se manifester de diverses manières, par apparition de groupements hydroperoxydes (-OOH), ou par oxydation du squelette carboné de la chaîne polypeptidique conduisant à une fragmentation des protéines et à l'apparition de groupements carbonyles. Elle peut se manifester aussi par oxydation des chaînes latérales des acides aminés avec formation de ponts disulfure, de méthionine sulfoxyde et de groupements carbonyles, ou par la formation de dérivés chlorés et nitrés lors du contact de la tyrosine avec respectivement, le système MPO/H₂O₂ et le radical de l'oxyde nitrique (NO[•]). La formation des protéines carbonylées est actuellement le marqueur le plus largement utilisé de stress oxydatif sévère pour cela un certain nombre d'essais ont été mis au point [35]

Nos résultats montrent clairement que le MTX a induit une augmentation marquée de la production des protéines carbonylées dans des extraits des tissus. Le même résultat a été démontré par Kolli [36].

Le taux élevé des protéines carbonylées a été expliqué par Gebiki et Gebiki [37]. Ils ont signalé que les radicaux libres induisent la formation de protéines oxydées. De plus, lorsque la quantité élevée de produit superoxydes accable le système de SOD / catalase, peut endommager les membranes cellulaires, l'ADN et des protéines cellulaires [38]

Nous avons observé une restauration des activités des enzymes antioxydantes et du taux des protéines carbonylées chez les rats traités par le MTX et la coadministration du cactus, ce qui suggère l'effet protecteur de cette plante contre les dommages oxydatifs induits par la chimiothérapie. Nos résultats sont en accords avec les travaux de Brahmi et al, (2012). [39]

L'augmentation des activités des enzymes antioxydantes chez les rats traités par le cactus et le methotrexate peut servir de mécanisme de compensation supplémentaire pour maintenir l'intégrité de la cellule et la protection contre les dommages des radicaux libres. Cela peut être dû à la présence de nombreux composés antioxydants comme vitamin C, betacarotenes, flavonoides, et betalains [40]. Ces résultats sont en accord avec des études précédentes démontrant l'effet de neutralisation des radicaux libres et l'action inhibitrice du cactus sur la production des anions superoxyde dans le foie et les reins [41] et testicule et ovaire [42] en augmentant l'activité des enzymes antioxydantes (SOD, CAT et GPx). Ces composés antioxydants peuvent moduler l'activité des enzymes antioxydantes [43].

4. CONCLUSION

L'objectif de notre recherche est de démontrer que l'extrait d'*Opuntia ficus indica* est capable d'exercer des effets protecteurs contre les altérations tissulaires causées par le méthotrexate. Notre travail a permis d'étudier la toxicité du méthotrexate d'une part, et la mise en évidence de l'effet protecteur du cactus vis-à-vis des effets cytotoxiques induits in vivo par cette molécule. L'analyse a porté essentiellement sur les effets induits par le MTX sur les variations du malonaldéhyde, des activités de la catalase et de la SOD, du glutathion peroxydase (GPx) et des fluctuations des protéines carbonylée. Ce désordre est associé à une altération structurale des reins. L'association Cactus/MTX a diminué significativement le niveau de la toxicité, et ce en modulant les niveaux des biomarqueurs du stress oxydant, et en régulant l'activité des enzymes antioxydantes. Cette combinaison a aussi amélioré la régulation des paramètres biochimiques et histologiques.

Les plantes aromatiques et médicinales sont donc la source de la majorité des antioxydants naturels et elles restent encore sous exploitées dans le domaine médical. Dans l'industrie pharmaceutique, sachant que les antioxydants sembleraient de manière significative à la prévention des maladies, le développement de nouveaux médicaments à base d'antioxydants d'origine naturelle doit être à l'ordre de jour.

	NaCl	cactus	MTX	MTX + cactus
MDA (nmol/mg pt)	3,4 ±0,5	3,65±0,43	8,04±0,34*	4,13± 0,21#
Catalase(μmol/min/mg pt)	12,60±0,28	11,78 ± 0,2	9,30±0,06*	10,67± 0,23*
SOD (U/mg pt)	8.78±0.52	7,43±0,43	4,89± 0,53	5,33± 0,03
GPX(mmol/mg pt)	0,93± 0, 23	0,87± 0,41	0,45±0,23	0,63±0,1*
Prot carb(mmole/mg pt)	1,93± 0,11	2,07± 0,31	3,69±0,23 *	3,01±0,07#

Tableau 1: Variation de l'activité des marqueurs du stress oxydatifs au niveau du rein

Les données sont exprimées par moyenne ± SD

*P≤0.05 comparé au contrôle groupe

P≤0.05 comparé au MTX groupe

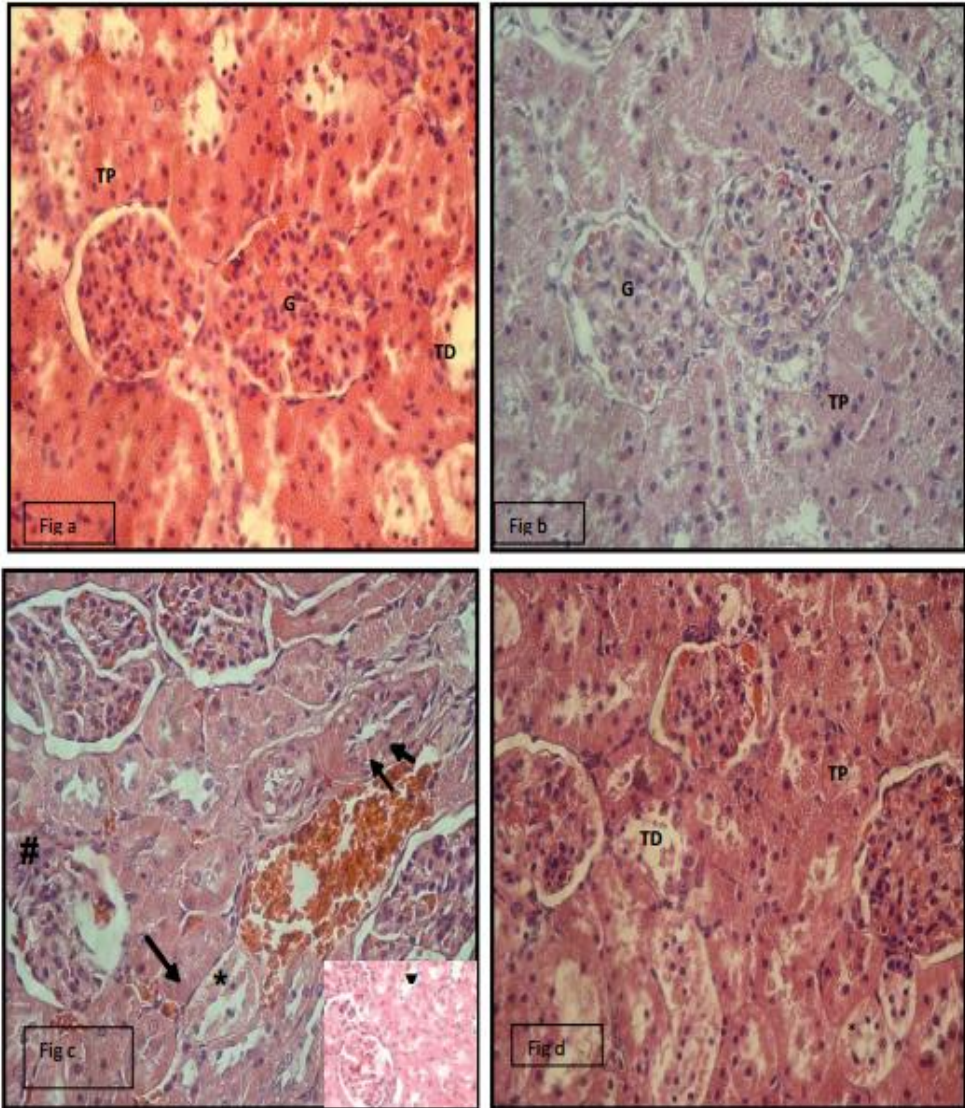


Figure I : Observation microscopique des tubules rénaux chez les rats témoins et traités.

A : groupe témoin : B : groupe traité par l'extrait de cactus (400 mg/kg PC). C : groupe traité par le méthotrexate à raison de 20 mg/kg PC (i.p) durant 10 jours ; D: groupe traité par l'extrait de cactus (400 mg/kg PC) et injecté par méthotrexate.

Vacuolisation (▲) dans les cellules épithéliales des tubules proximaux.

Dilatation tubulaire (▼),

Décollement de l'épithélium tubulaire (*).

Infiltration leucocytaire (#).

Références

- [1] J.R. BERTINO. Clinical pharmacology of methotrexate. **Med Pediatr Oncol**, vol. 10, n° 4, pp. 401-411, 1982.
- [2] B.C. WIDEMANN, P.C. ADAMSON. Understanding and managing methotrexate nephrotoxicity. **Oncologist**, vol. 11, n° 11, pp. 694-703, 2006.
- [3] A. CETIN, L. KAYNAR, I. KOCYIGIT, S. HACIOGLU, R. SARAYMEN, O. OZTURK, I. SARI, O. SAGDIC. Role of grape seed extract on methotrexate induced oxidative stress in rat liver. **Am J Chinese Med**, vol. 36, n° 5, pp. 861-872, 2008.
- [4] L. TESORIERE, D. BUTERA, A.M. PINTAUDI, M. ALLEGRA, M.A. LIVREA. Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: a comparative study with Vit C. **Am J Clin Nutr**, vol. 80, n° 2, pp. 391-395, 2004.
- [5] M.L. URSO, P.M. CLARKSON. Oxidative stress, exercise and antioxidant supplementation. **Toxicology**, vol. 189, n° 1-2, pp. 41-54, 2003.
- [6] E.M. GALATI, M.T. MONFORTE, M.M. TRIPODO, A. D'AQUINO, M.R. MONDELLO. Antiulcer activity of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Cactaceae): ultrastructural study. **J Ethnopharmacol**, vol. 76, n° 1, pp. 1-9, 2001.
- [7] C. SAENZ, M. KICKLEBURG, A.M. ESTEVEZ, E. SEPULVEDA. Natural liquid sweetener from cactus pear: obtention and characteristics. **Acta Horti**, vol. 438, pp. 135-138, 1996.
- [8] D. BRAHMI, Y. AYED, M. HFAIEDH, C. BOUAZIZ, H. BEN MANSOUR, L. ZOURGUI, H. BACHA. Protective effect of cactus cladode extract against cisplatin induced oxidative stress, genotoxicity and apoptosis in balb/c mice: combination with phytochemical composition. **BMC Complement Altern Med**, vol. 12, n° 111, pp. 1-10, 2012.
- [9] A. AKACHA, T. REBAI, L. ZOURGUI, M. AMRI. Preventive effect of ethanolic extract of cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes on methotrexate-induced oxidative damage of the small intestine in Wistar rats. **J Cancer Res Ther**, vol. 14, n° 10, pp. 779-784, 2018.
- [10] J.A. BUEGE, S.D. AUST. Microsomal lipid peroxidation methods. **Methods Enzymol**, vol. 52, pp. 302-310, 1978.
- [11] I. DURAK, Z. YURTARSLAN, O. CANBOLAT, O. AKYOL. A methodological approach to superoxide dismutase (SOD) activity assay based on inhibition of nitroblue tetrazolium (NBT) reduction. **Clin Chim Acta**, vol. 214, n° 1, pp. 103-104, 1993.
- [12] M.H. HAFEZ, M.A. IBRAHIM, S.A. IBRAHIM, E.F. AMIN, W. GOMA, A.M. ABDELRAHMAN. Potential protective effect of etanercept and aminoguanidine in methotrexate-induced hepatotoxicity and nephrotoxicity in rat. **Eur J Pharmacol**, vol. 768, pp. 1-12, 2015.
- [13] B.C. WIDEMANN, P.C. ADAMSON. Understanding and managing methotrexate nephrotoxicity. **Oncologist**, vol. 11, n° 11, pp. 694-703, 2006.
- [14] G.R. BUETTNER. The pecking order of free radicals and antioxidants: lipid peroxidation, alpha-tocopherol, and ascorbate. **Arch Biochem Biophys**, vol. 300, n° 2, pp. 535-543, 1993.
- [15] E.A. MEAGHER, G.A. FITZGERALD. Indices of lipid peroxidation in vivo: strengths and limitations. **Free Radic Biol Med**, vol. 28, n° 12, pp. 1745-1750, 2000.
- [16] P. HOLVOET, J. VANHAECKE, S. JANSSENS, F. VAN DE WERF, D. COLLEN. Oxidized LDL and malondialdehyde-modified LDL in patients with acute coronary syndromes and stable coronary artery disease. **Circulation**, vol. 98, n° 15, pp. 1487-1494, 1998.
- [17] E.N. FRANKEL. Photooxidation of unsaturated fats. In: **Lipid Oxidation**. The Oily Press, Dundee, pp. 43-54, 1998.
- [18] G. SENER, E. EKSIOGLU-DEMIRALP, M. CETINER, F. ERCAN, S. SIRVanci, N. GEDIK, B.C. YEGEN. L-Carnitine ameliorates methotrexate-induced oxidative organ injury and inhibits leukocyte death. **Cell Biol Toxicol**, vol. 22, n° 1, pp. 47-60, 2006.
- [19] N. JAHOVIC, H. CEVIK, A.O. SEHIRLI, B.C. YEGEN, G. SENER. Melatonin prevents methotrexate-induced hepatorenal oxidative injury in rats. **J Pineal Res**, vol. 34, n° 4, pp. 282-287, 2003.
- [20] G. CIGHETTI, L. DUCA, L. BORTONE, S. SALA, I. NAVA, G. FIORELLI, M.D. CAPPELLINI. Oxidative status and malondialdehyde in beta-thalassemia patients. **Eur J Clin Invest**, vol. 32, n° 1, pp. 55-60, 2002.
- [21] E. CIRALIK, E. BULBULOGLU, A. CETINKAYA, E.B. KURUTAS, M. CELIK, A. POLAT. Effects of N-acetylcysteine on methotrexate-induced small intestinal damage in rats. **Mt Sinai J Med**, vol. 73, n° 8, pp. 1086-1092, 2006.
- [22] E. OMER, B. BUNYAMIN, I. MEHMET, G. MINE, S. SULEYMAN. The effect of mirtazapine on methotrexate-induced oxidative damage and infertility in rats. **ScienceAsia**, vol. 40, n° 2, pp. 152-156, 2014.
- [23] L. FLOHE. Glutathione peroxidase. **Basic Life Sci**, vol. 49, pp. 663-668, 1988.
- [24] M.L. URSO, P.M. CLARKSON. Oxidative stress, exercise and antioxidant supplementation. **Toxicology**, vol. 189, n° 1-2, pp. 41-54, 2003.
- [25] E. UZAR, H.R. KOYUNCUOGLU, E. UZ, H.R. YILMAZ, S. KUTLUHAN, S. KILBAS, F. GULTEKIN. The activities of antioxidant enzymes and the level of malondialdehyde in cerebellum of rats subjected to methotrexate: protective effect of caffeic acid phenethyl ester. **Mol Cell Biochem**, vol. 291, n° 1-2, pp. 63-68, 2006.

- [26] Y. MIYAZONO, F. GAO, T. HORIE. Oxidative stress contributes to methotrexate-induced small intestinal toxicity in rats. *Scand J Gastroenterol*, vol. 39, n° 11, pp. 1119-1127, 2004.
- [27] W. AOUACHERI, S. SAKA, R. DJAFER. L'effet toxique d'un insecticide (alphamethrine) sur l'activité du système enzymatique de détoxification du glutathion. *Ann Toxicol Anal*, vol. 21, n° 3, pp. 125-129, 2009.
- [28] M.J. DAVIES. Stable markers of oxidant damage to proteins and their application in the study of human disease. *Free Radic Biol Med*, vol. 27, n° 9-10, pp. 1151-1163, 1999.
- [29] V.P. DADHANIA, D.N. TRIPATHI, A. VIKRAM, P. RAMARAO, G.B. JENA. Intervention of lipoic acid ameliorates methotrexate-induced oxidative stress and genotoxicity: a study in rat intestine. *Chem Biol Interact*, vol. 183, n° 1, pp. 85-97, 2010.
- [30] M.L. URSO, P.M. CLARKSON. Oxidative stress, exercise and antioxidant supplementation. *Toxicology*, vol. 189, n° 1-2, pp. 41-54, 2003.
- [31] N. VACARESSE, O. VIEIRA, F. ROBBIESYN, G. JURGENS, R. SALVAYRE, A. NEGRE-SALVAYRE. Phenolic antioxidants trolox and caffeic acid modulate the oxidized LDL-induced EGF-receptor activation. *Br J Pharmacol*, vol. 132, n° 8, pp. 1777-1788, 2001.
- [32] A. MONJAUZE, H.N. LE HOUEROU. Le role des Opuntia dans l'economie agricole Nord Africaine. *Bull Ecole Natl Super Agron Tunis*, vol. 8-9, pp. 85-164, 1965.
- [33] K. MAAROUFI, L. CHEKIR, E.E. CREPPY, F. ELLOUZ, H. BACHA. Zearalenone induces modifications of haematological and biochemical parameters in rats. *Toxicol*, vol. 34, n° 5, pp. 535-540, 1996.
- [34] M.J. DAVIES. Stable markers of oxidant damage to proteins and their application in the study of human disease. *Free Radic Biol Med*, vol. 27, n° 9-10, pp. 1151-1163, 1999.
- [35] I. DALLE-DONNE, R. ROSSI, D. GIUSTARINI, A. MILZANI, R. COLOMBO. Protein carbonyl groups as biomarkers of oxidative damage in human disease. *Clin Chim Acta*, vol. 329, n° 1-2, pp. 23-38, 2003.
- [36] V.K. KOLLI, P. ABRAHAM, B. ISAAC, D. SELVAKUMAR. Neutrophil infiltration and oxidative stress may play a critical role in methotrexate-induced renal damage. *Chemotherapy*, vol. 55, n° 2, pp. 83-90, 2009.
- [37] J.M. GEBICKI, A. GEBICKI. Formation of peroxides in amino acids and proteins exposed to oxygen free radicals. *Biochem J*, vol. 289, n° 3, pp. 743-749, 1993.
- [38] L. FREMONT. Biological effects of resveratrol. *Life Sci*, vol. 66, n° 8, pp. 663-673, 2000.
- [39] D. BRAHMI, C. BOUAZIZ, Y. AYED, H. BEN MANSOUR, L. ZOURGUI, H. BACHA. Chemopreventive effect of cactus Opuntia ficus indica on oxidative stress and genotoxicity of aflatoxin B1. *Nutr Metab (Lond)*, vol. 8, n° 73, pp. 1-9, 2011.
- [40] J.O. KUTI. Antioxidant compounds from four Opuntia cactus pear fruit varieties. *Food Chem*, vol. 85, n° 4, pp. 527-533, 2004.
- [41] L. ZOURGUI, E.E. GOLLI, C. BOUAZIZ, H. BACHA, W. HASSEN. Cactus (Opuntia ficus-indica) cladodes prevent oxidative damage induced by the mycotoxin zearalenone in Balb/C mice. *Food Chem Toxicol*, vol. 46, n° 5, pp. 1817-1824, 2008.
- [42] N. HFAIEDH, M.S. ALLAGUI, M. HFAIEDH, A.E. FEKI, L. ZOURGUI, F. CROUTE. Protective effect of cactus (Opuntia ficus indica) cladode extract upon nickel-induced toxicity in rats. *Food Chem Toxicol*, vol. 46, n° 12, pp. 3759-3763, 2008.
- [43] E.M. GALATI, S. PERGOLIZZI, M.M. TRIPODO, A. D'AQUINO, M.R. MONDELLO. Study on the increment of the production of gastric mucus in rats treated with Opuntia ficus indica (L.) Mill. cladodes. *J Ethnopharmacol*, vol. 83, n° 3, pp. 229-233, 2002.

[Lien d'inscription Colloque Eau-Trame bleue verte-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

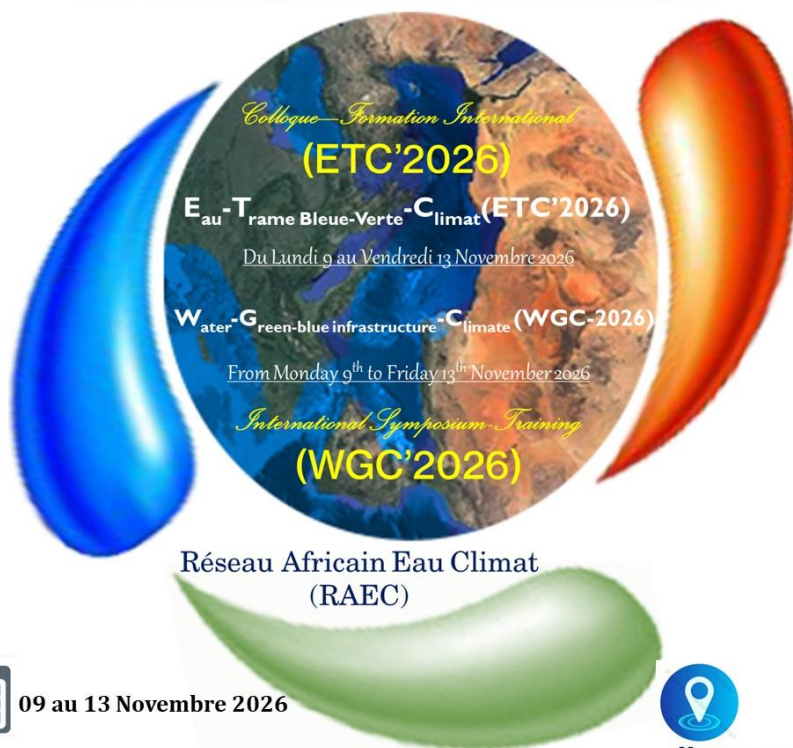


Colloque-Formation Internationale (ETC'2026)

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

Pour plus d'informations veuillez contacter

Pr. Nouredine GAALOUIL

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



Hammamet (Tunisie)



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 3–November 2025 - jiste.org/volume-xc-2025/

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





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

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

✓ 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 (xz) - 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 3 –November 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 3 – November 2025

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



Water-Biodiversity-Climate:
*Biodiversity, Sustainable Water Security
and Climate Change*

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

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