

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (viii) - Issue 4 - December 2023

Water - **D**rought - **C**limate'2023



Climate Change and Adaptation

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

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

International Scientific Committee (ISC-WDC'2023)

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

Preface



W

ater – at the center of the climate crisis

Climate change is exacerbating both water scarcity and water-related hazards (such as floods and droughts), as rising temperatures disrupt precipitation patterns and the entire water cycle. Water and climate change are inextricably linked. Climate change affects the world's water in complex ways. From unpredictable rainfall patterns to shrinking ice sheets, rising sea levels, floods and droughts – most impacts of climate change come down to water (UN Water). Climate change is exacerbating both water scarcity and water-related hazards (such as floods and droughts), as rising temperatures disrupt precipitation patterns and the entire water cycle (UNICEF). Get more facts on climate and water below.

Water scarcity: *About two billion people worldwide don't have access to safe drinking water today (SDG Report 2022), and roughly half of the world's population is experiencing severe water scarcity for at least part of the year (IPCC). These numbers are expected to increase, exacerbated by climate change and population growth (WMO). Only 0.5 per cent of water on Earth is useable and available freshwater – and climate change is dangerously affecting that supply. Over the past twenty years, terrestrial water storage – including soil moisture, snow and ice – has dropped at a rate of 1 cm per year, with major ramifications for water security (WMO). Water supplies stored in glaciers and snow cover are projected to further decline over the course of the century, thus reducing water availability during warm and dry periods in regions supplied by melt water from major mountain ranges, where more than one-sixth of the world's population currently live (IPCC). Sea-level rise is projected to extend salinization of groundwater, decreasing freshwater availability for humans and ecosystems in coastal areas (IPCC). Limiting global warming to 1.5°C compared to 2°C would approximately halve the proportion of the world population expected to suffer water scarcity, although there is considerable variability between regions (IPCC). Water quality is also affected by climate change, as higher water temperatures and more frequent floods and droughts are projected to exacerbate many forms of water pollution – from sediments to pathogens and pesticides (IPCC). Climate change, population growth and increasing water scarcity will put pressure on food supply (IPCC) as most of the freshwater used, about 70 per cent on average, is used for agriculture (it takes between 2000 and 5000 liters of water to produce a person's daily food) (FAO).*

Water-related hazards: *Climate change has made extreme weather events such as floods and droughts more likely and more severe (IPCC). Rising global temperatures increase the moisture the atmosphere can hold, resulting in more storms and heavy rains, but paradoxically also more intense dry spells as more water evaporates from the land and global weather patterns change. (World Bank). Drought and flood risks, and associated societal damages, are projected to further increase with every degree of global warming (IPCC). The frequency of heavy precipitation events will very likely increase over most areas during the 21st century, with more rain-generated floods. At the same time, the proportion of land in extreme drought at any one time is also projected to increase (IPCC). Water-related disasters have dominated the list of disasters over the past 50 years and account for 70 per cent of all deaths related to natural disasters (World Bank). Since 2000, flood-related disasters have risen by 134 per cent compared with the two previous decades. Most of the flood-related deaths and economic losses were recorded in Asia (WMO). The number and duration of droughts also increased by 29 per cent over this same period. Most drought-related deaths occurred in Africa (WMO).*

Water solutions: *Healthy aquatic ecosystems and improved water management can lower greenhouse gas emissions and provide protection against climate hazards (Water and Climate Coalition). Wetlands such as mangroves, seagrasses, marshes and swamps are highly effective carbon sinks that absorb and store CO₂, helping to reduce greenhouse gas emissions (UNEP). Wetlands also serve as a buffer against extreme weather events (UNEP). They provide a natural shield against storm surges and absorb excess water and precipitation. Through the plants and microorganisms that they house, wetlands also provide water storage and purification. Early warning systems for floods, droughts and other water-related hazards provide a more than tenfold return on investment and can significantly reduce disaster risk: a 24-hour warning of a coming storm can cut the ensuing damage by 30 per cent (WMO). Water supply and sanitation systems that can withstand climate change could save the lives of more than 360,000 infants every year (New Climate Economy report). Climate-smart agriculture using drip irrigation and other means of using water more efficiently can help reduce demand on freshwater supplies (UNEP).*

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 *Tunisienne*)

www.iistee.org



International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

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

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

Open Access

08 Volumes, 27 Issues, (404 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 (viii): 4 Issues (27 Papers) Water -Drought-Climate'2022

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés



Table of Contents

- Merzouk Abdessamad** (Département d'Écologie et Environnement, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de L'univers- Algérie) *Dahmani Rachid* : Effet des actions anthropiques sur les écosystèmes du matorral de la région de Tlemcen 5
- Ndao Saidou** (l'Université Iba Der THIAM de Thiès - Sénégal): Les milliards de m3 d'eau du fleuve Sénégal perdus en mer par an : faut-il que cela continue dans un contexte de changement climatique 13
- Benabadj Noury** (Université de Tlemcen Algérie), Une phytodiversité perturbée des piémonts montagneux (Algérie occidentale) 22
- Ibrahima Touré** (Laboratoire d'Hydraulique et de Mécanique des fluides, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar- Sénégal) *Mamadou Sarr, Issa Leye, Soussou Sambou* : Caractérisation et modélisation par GEV de la variabilité climatique sur les ressources en eau dans la région de Kaolack au Sénégal 35
- Sayda Mhanna** (University of Carthage. The National Research Institute of Rural Engineering, Water and Forestry. INRGREF. Laboratory of Management and Valorization of Forest Resources -Tunisia) *Ali Khorchani, Foued Hasnaoui, Issam Toubami, Abdelmajid Hamrouni, Mobamed Tahar Elaieb* : Evaluation du stock de carbone de la partie aérienne arbustive d'une association végétale de la formation mixte de chêne-liège et de pin maritime du nord-ouest de La Tunisie 48
- Fathi Mohamed** (جامعة الحسن الثاني الدار البيضاء كلية العلوم الإنسانية بن مسيك):
التغيرات المناخية ومشاريع التهنية الفلاحية بسهل الغرب(المغرب) 54
- Gbenou Pascal**, (Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Laboratoire de Sciences Végétales, Horticoles et Forestières, Université Nationale d'Agriculture, BP 43, Kétou, Bénin.), *Montcho Hambada Koffi David, Adjabossou Sédami Bai and Nevis Romarie David*: Efficacité de l'extrait aqueux de feuilles de Moringa oleifera Lamarck sur le tallage du riz en Système de Riziculture Intensive (SRI) : une étude dans la vallée de l'Ouémé, au sud du Bénin 67

www.jistee.org

jistee@iresa.agrinet.tn
jistee@yahoo.com

Effet des actions anthropiques sur les écosystèmes du matorral de la région de Tlemcen

Merzouk Abdessamad¹, Dahmani Rachid

Laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels Université de Tlemcen

Abstract

Dans les zones semi-arides de l'Ouest algérien, plus précisément dans la région de Tlemcen, de nombreux auteurs ont mené des études scientifiques traitant la dynamique post-dégradation des écosystèmes forestiers, les corrélations entre les facteurs de dégradation (naturels ou anthropique) et la végétation, et identifiant seul l'aspect qualitatif des effets anthropique (surpâturage, incendies, exploitation forestière, tourisme, ouverture des cols...etc.). Cependant, ces études analysent rarement l'aspect qualitatif et quantitatif des impacts à la fois anthropique et bioclimatiques sur les écosystèmes forestiers, ainsi que l'impact de ces facteurs sur la dynamique des sols forestiers ; notamment les propriétés chimiques et microbiennes et leur résilience après la dégradation. Sur cette base et partir de ces données, l'aspect qualitatif et quantitatif d'effets anthropique et bioclimatiques était d'une grande importance pour comprendre l'état actuel des écosystèmes forestiers, et évaluer la dynamique structurelle de la végétation et du sol ; et c'est ce qui nous a incités à réaliser cette étude sur des matorrals perturbés et dégradés de la zone Nord-Ouest Algérien (wilaya de Tlemcen : cas des matorrals de Djebel Felloucene), qui a un climat semi-aride.

Déterminer l'aspect qualitatif et quantitatif l'impact de l'action anthropique et le surpâturage sur les formations forestières à partir d'indicateurs et de coefficients développés par certains auteurs : Montaya (1983) et Le-Houérou (1969).

Key Words: matorral, action anthropique, ACP, région de Tlemcen.

Abstract

In the semi-arid zones of western Algeria, more precisely in the Tlemcen region, many authors have carried out scientific studies dealing with the post-degradation dynamics of forest ecosystems, the correlations between degradation factors (natural or anthropogenic) and vegetation, and only identifying the qualitative aspect of anthropogenic effects (overgrazing, fires, logging, tourism, opening of passes, etc.).

However, these studies rarely analyze the qualitative and quantitative aspect of both anthropogenic and bioclimatic impacts on forest ecosystems, as well as the impact of these factors on the dynamics of forest soils; including chemical and microbial properties and their resilience after degradation. On this basis and from these data, the qualitative and quantitative aspect of anthropogenic and bioclimatic effects was of great importance to understand the current state of forest ecosystems, and to assess the structural dynamics of vegetation and soil; and this is what prompted us to carry out this study on disturbed and degraded matorrals in the North-West Algerian zone (wilaya of Tlemcen: case of the Djebel Felloucene matorrals), which has a semi-arid climate.

Determine the qualitative and quantitative aspect of the impact of anthropogenic action and overgrazing on forest formations based on indicators and coefficients developed by certain authors: Montaya (1983) and Le-Houérou (1969).

Keywords: matorral, anthropogenic action, ACP, Tlemcen region

¹ Corresponding author: as_Merzouk@yahoo.fr

INTRODUCTION

Dans le bassin méditerranéen, la diversité des facteurs de dégradation, qui peuvent être naturels mais surtout anthropiques (Blondel *et al.*, 2010 ; Ciccarelli, 2014), où et depuis des millénaires, l'homme exploite sous une forme aléatoire les forêts et les matorrals, à travers son effort permanent à la recherche de nouveaux pâturages pour ses troupeaux et des terres agricoles fertiles, laissant de nombreuses perturbations et dégradations structurelles, que ce soit au niveau de la dynamique de la végétation ou au niveau de la dynamique de sol (Borsali *et al.*, 2019 ; Allam *et al.*, 2019, Allam *et al.*, 2020). De nos jours la dégradation de se dernière est une problématique globale (Eswaran and Reich, 2002 ; Turner *et al.*, 2016 ; Delgado and Marín, 2020) et complexe, elle pourrait compromettre l'avenir de bien des pays (Lahmar and Ruellan, 2007), où le sol est considéré comme une ressource non renouvelable à l'échelle des générations humaines (Lal, 2009 ; Schoonover and Crim, 2015). Une prise de conscience de l'ampleur des effets des activités humaines sur les sols a mené les décideurs à élaborer des outils pour le suivi de la qualité des sols, afin de surveiller l'évolution des sols, de limiter leur dégradation et de favoriser des pratiques qui permettent une utilisation durable des sols (Vincent *et al.*, 2019). Dans les zones semi-arides d'Algérie occidentale, de nombreux auteurs ont mené des études scientifiques traitant la dynamique post-dégradation des écosystèmes forestiers, et les corrélations entre les facteurs de dégradation (naturel ou anthropique) et la végétation, cependant ces études analysent rarement l'impact de ces facteurs sur la dynamique des sols, en particulier les propriétés chimiques et microbiennes et sa résilience après la dégradation (Borsali *et al.*, 2017 ; Zouidi *et al.*, 2018, Zouidi *et al.*, 2019a).

2. Matériel et Méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude « matorrals de Djebel Fellaoucene »

La zone d'étude est localisée dans la partie occidentale du nord-ouest Algérien (Oranie) dans les massifs des Traras, « les matorrals de Djebel Fellaoucene » ; entre (35° 05' 44 .74" et 34° 94' 61.06" Nord ; W : 001° 61' 30.60" et 001° 72' 53.72" Ouest) à une altitude de 270m à 1136m avec une superficie de 6259 h. Elle est constituée par trois masses forestières : « Fellaoucene, Ain Kebira, Ain Fetah », (Figure .1). Cette zone de l'étage thermo-méditerranéenne en bioclimat semi-aride tempéré et chaud caractérisée par des précipitations moyennes annuelles de 400 à 600 mm avec un régime pluviométrique saisonnier de type : Hivernales > Printemps > Automne > Été », la température moyenne annuelle est de 18.73°C avec un « m » de 5°C et « M » de 30°C. Les crêtes de ce massif sont constituées par des grès intercalés de calcaire bleus du jurassique supérieur donnant des reliefs abrupts, reposant sur des schistes et argiles oxfordiens qui donnent des pentes régulières et sur des calcaires liasiques durs donnant à nouveau des reliefs abrupts (Durand, 1954).

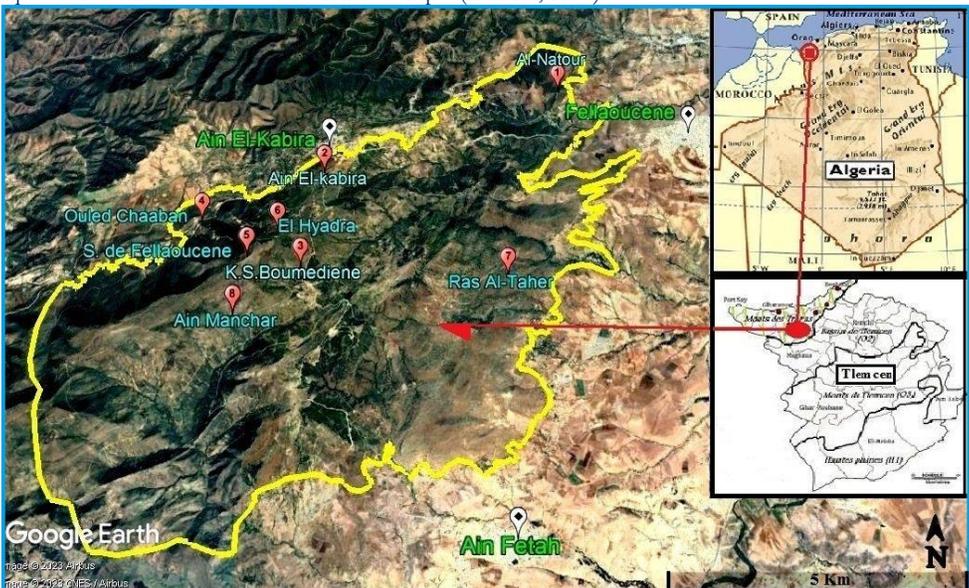


Figure 1 : Localisation des différentes stations dans les matorrals de Djebel Fellaoucene (Tlemcen, Algérie Occidentale) (Google Earth, 2022; modifier).

2.2. Échantillonnage et choix des stations

Le choix et la délimitation des stations sont faits d'après une prospection préliminaire des matorrals dégradés par les différentes pressions anthropiques " surpâturage, coupe de bois, incendies " et climatiques, qui permet la détection des facteurs de dégradation (naturel ou anthropique) les plus influents sur la dynamique des sols, et évaluer la résilience et les corrélations des propriétés chimiques et microbiologiques des sols. Dans ces matorrals, 08 stations d'échantillonnage, chacune ont été sélectionnées en fonction des différents pressions anthropiques et climatiques pour étudier les propriétés chimiques « la matière organique, le pH, la conductivité, le calcaire total (CaCO₃), l'humidité, le carbone » et biologiques « respiration basale, biomasse microbienne, qCO₂ » des sols.

Dans le but de valider statistiquement les résultats, dans chaque station a été répliquée dix (10) fois les échantillons de sol. Malgré l'absence d'une base de données publique sur les différents contraintes anthropiques et climatiques de la wilaya de Tlemcen, notre enquête auprès des services forestiers, des habitants et les observations sur terrain, indiquent que les stations étudiées ont subi du surpâturage par différents types de bétail (bovins, ovins et caprins), la coupe de bois, ouverture de sentiers pour l'extension des pâturages, tourisme, collecte des plants médicinaux, déforestations, et les incendies où les services forestiers nous ont confirmé que le dernier incendie dans la zone d'étude a été enregistré en 2014.

Sur chaque station d'échantillonnage, dix (10) échantillons de sol ont été prélevés aléatoirement, après avoir éliminé la litière, à une profondeur comprise entre 0 et 15 cm correspondant à l'horizon de surface organo-minéral. Les échantillons ont été tamisés à 2 mm, séchés à l'air avant d'effectuer certaines analyses chimiques, ou conservés 15 jours à 4 °C dans l'attente des analyses microbiologiques. Les faciès de végétation, substrat, exposition, cordonné GPS, actions anthropiques et les pentes, des différentes stations sont récapitulés dans le tableau 01.

Tableau 01. Caractéristiques générales des stations d'échantillonnage dans la zone d'étude

N° & Nom de Station	Expositio n	Cordonné GPS	La pente (%)	Substra t	Action Anthropiques	Espèces dominant
1 : Al-Natour	Nord-est Sud-est	35° 2'32.60"N 1°37'39.54"O Al : 450 m	< 25	Calcaire	Surpâturage (Ovins et Caprins), Coupe de bois, Ouverture de sentiers, Tourisme, Collecte des plants médicinaux, Déforestations.	Sclérophylles et thermophiles : <i>Pistacia lentiscus</i> L. <i>Quercus Ilex</i> L. <i>Quercus coccifera</i> L. <i>Tetraclinis articulata</i> . <i>Cistus monspeliensis</i> L. <i>Calycotum intermedia</i> <i>Chamaerops humilis</i> L. <i>Ulex parviflorus</i> Pourret. <i>Ampelodesmos mauritanicus</i>
2 : Ain Elkabira	Sud-est	35° 1'33.09"N 1°40'28.73"O Al : 740 m	20 à 25	Siliceuse	Surpâturage(Bovins). Les incendies.	
3 : Karkoum Sidi Boumediene	Sud	35° 0'32.02"N 1°40'43.39"O Al : 750 m	03 à 10	Siliceuse	Surpâturage(Bovins). Les incendies.	
4 : Ouled Chaaban	Nord	35° 0'58.99"N 1°42'0.75"O Al : 685 m	10 à 15	Calcaire	Surpâturage (Ovins et Caprins), Coupe de bois, Ouverture de sentiers, Tourisme, Collecte des plants médicinaux, Déforestations.	
5 : Le sommet de Fellaoucene	Nord	35° 0'32.04"N 1°41'21.02"O Al : 1130 m	03 à 15	Siliceuse	Surpâturage(Bovins), Coupe de bois, Ouverture de sentiers, Tourisme, Collecte des plants médicinaux, Incendies, Déforestations	
6 : El-Hyadra	Nord	35° 0'49.54"N 1°41'2.81"O Al : 930 m	05 à 15	Siliceuse	Surpâturage(Bovins), Coupe de bois, Ouverture de sentiers, Tourisme, Collecte des plants médicinaux, Incendies, Déforestations	
7 : Ras Al-Taher	Nord-est, Sud-est	35° 0'27.04"N 1°38'18.96"O Al : 500 m	10 à 20	Calcaire	Surpâturage (Ovins et Caprins), Coupe de bois, Ouverture de sentiers, Collecte des plants médicinaux, Déforestations	
8 : Ain Manchar	Sud	35° 0'0.81"N 1°41'30.89"O Al : 780 m	< 25	Siliceuse	Surpâturage(Bovins). Les incendies	

2.3. Analyses statistiques

Les analyses en composantes principales (ACP) ont été utilisées pour tester les effets des facteurs de dégradation (naturel ou anthropique) les plus influents sur la dynamique des sols, et détecter les corrélations entre des propriétés chimiques, microbiologiques des sols et ces facteurs. L'ACP, servira à mieux connaître les données sur lesquelles on travaille, à détecter éventuellement des valeurs suspectes et à permettre d'étudier les structures de jonction linéaires sur toutes les variables chimiques et microbiennes pour chaque station en particulier et pour la zone d'étude en général, nous verrons si nous pouvons distinguer des groupes dans toutes les variables en considérant des variables similaires, qui sont différentes des autres variables. Les analyses statistiques ont été effectuées sur Minitab 19.

3. Résultats

3.1. Discrimination par l'ACP les propriétés chimiques et microbiennes dans la zone d'étude

L'analyse en composantes principales (ACP) est un outil extrêmement puissant de compression et de synthèse de l'information. Selon notre A.C.P des propriétés chimiques et microbiennes des sols de la zone d'étude l'Axe 1 montre une valeur propre : 9,01 avec un taux d'inertie : 90.2 %. Les variables ayant une forte contribution relative aux valeurs propres de cet axe sont :

Côté positif de l'axe 1		Côté négatif de l'axe 1	
Variable	Valeurs (+)	Variable	Valeurs (-)
Humidité	4,48	Respiration Basale	3,53
Matière Organique	2,82	Biomasse Microbienne	3,49
		Conductivité	3,61

Au niveau de cet axe nous avons défini un gradient d'humidité et matière organique (MO) pour le côté positif, et un gradient de respiration basale, de biomasse Bactérienne et de Conductivité pour les sols les plus sèches «versant sud», qui va du côté positif au côté négatif de l'axe. Globalement, les sols sous individus de cette zone sont influencés respectivement par le versant, l'humidité et/ou la sécheresse, matière organique et l'alcalinité.

Selon l'Axe 2 la valeur propre est 0,94 avec un taux d'inertie de 9,5%. Les variables ayant une forte contribution relative aux valeurs propres de cet axe sont :

Côté positif de l'axe 2		Côté négatif de l'axe 2	
Variable	Valeurs (+)	Variable	Valeurs (-)
%CaCO ₃	2,53	Humidité	0,69
		Matière Organique	0,61

L'axe 2 se caractérise surtout par un gradient de CaCO₃ Côté positif de, et de matière organique, de pH (alcalinité) de respiration basale, de biomasse microbienne et de conductivité pour tous les échantillons en allant du côté négatif vers le côté positif.

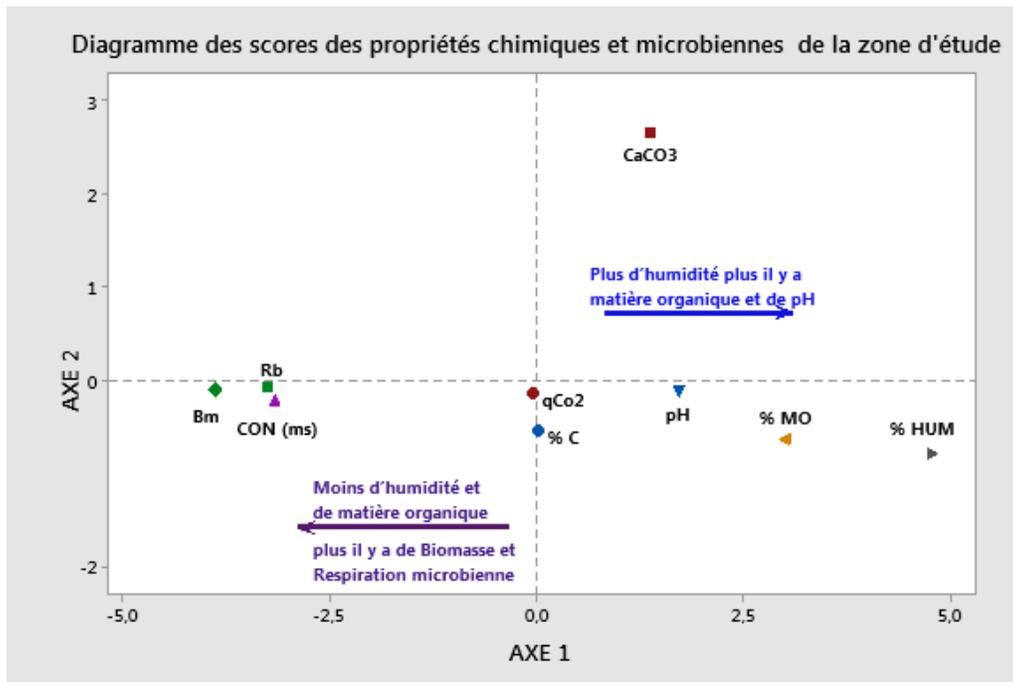


Figure 02. A.C.P des propriétés chimiques et microbiennes des sols de la zone d'étude « HUM : humidité, MO : matière organique, pH : potentiel hydrogène, CON : conductivité, C : carbone organique, CaCO₃ : calcaire total, Bm: biomasse microbienne, Rb: respiration basale, qCO₂: Quotient métabolique ».

3.2. Discrimination par l'ACP les propriétés chimiques et microbiennes de chaque station

L'axe 1 présente une valeur propre de 4,18 avec un taux d'inertie : 46.5 %. Les variables ayant une forte contribution relative aux valeurs propres de cet axe sont :

Côté positif de l'axe 1		Côté négatif de l'axe 1	
Échantillons	Valeurs (+)	Échantillons	Valeurs (-)
Ech.4f	3,93	Ech.2a	3,37
Ech.5a	3,51	Ech.3b	4,10
Ech.5f	3,57	Ech.3g	3,47
Ech.5j	3,60	Ech.8a	3,46

« NB : Ech.4f : station 4, échantillon f ; Ech.5j : station 5, échantillon j ; ...etc. »

Le côté positif de l'axe 1 se caractérise par les échantillons des stations de : sommet de djebel Fellaoucene, El Hyadra et Ouled Chaaban, ces sols sont plus humides et riche en carbone et en matière organique, on a aussi une certaine influence de l'alcalinité en particulière la station de Ouled Chaaban. Le côté négatif se caractérise par les échantillons des stations de : Ain El Kabira, Karkoum S.B et Ain Menchar, ces sols sont plus sèche, de plus le taux de la masse microbiennes et de respiration basale était élevé par rapport aux autres échantillons. (fig. 3).

L'axe 2 présente une valeur propre de 1,58 avec un taux d'inertie : 17.6 %. Les variables ayant une forte contribution relative aux valeurs propres de cet axe sont :

Côté positif de l'axe 2		Côté négatif de l'axe 2	
Échantillons	Valeurs (+)	Échantillons	Valeurs (-)
Ech.1c	2,30	Ech.5f	2,28
Ech.4f	3,08	Ech.5i	3,07
Ech.6d	2,25	Ech.5j	2,77

« NB : Ecb.4f : station 4, échantillon f ; Ecb.5j : station 5, échantillon j ; ...etc. »

Le côté positif de l'axe 2, représente tous les échantillons des stations : Al-Natour, Ouled Chaaban, et Ras Al-Tahar, ces sols d'un substrat calcaire et de pH plus alcaline, alors que côté négatif de l'axe comprend des sols de substrat siliceuse ou de faible en calcaire.

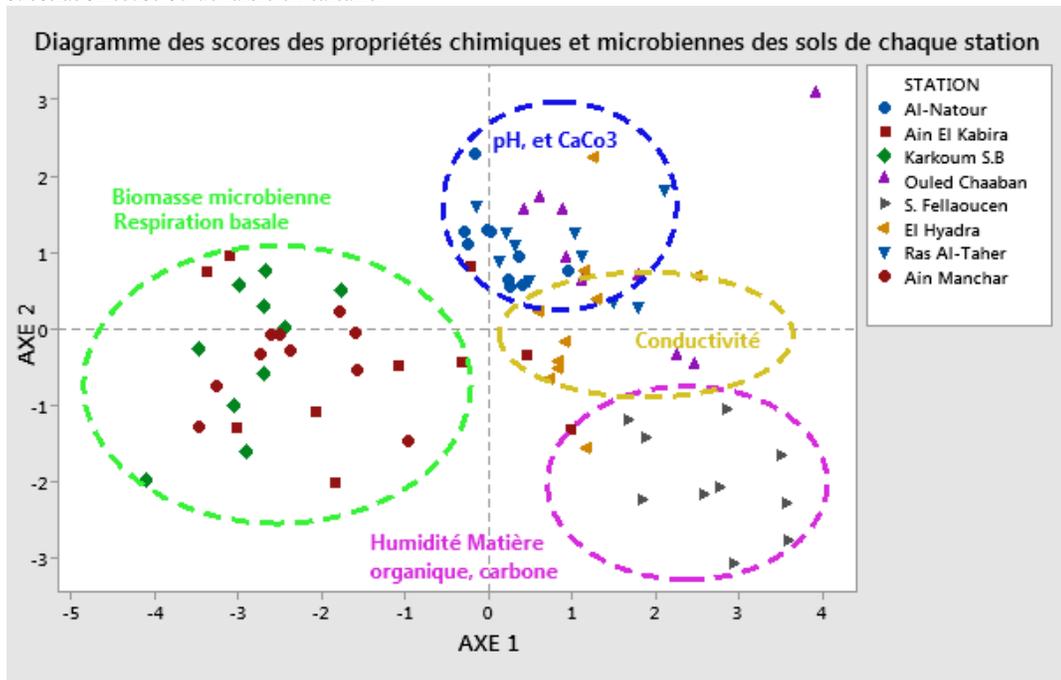


Figure 03. Analyse en composant principal (ACP) des propriétés chimiques et microbiennes des sols de chaque station

3.3. Analyse des principaux facteurs de la corrélation entre les propriétés chimiques et microbiennes des sols

Les résultats de l'analyse statistique ont révélé plusieurs corrélations entre différents échantillons de sol, où chaque corrélation est soumise à plusieurs facteurs climatiques et anthropiques qui la distinguent de l'autre.

Les échantillons des stations de: Ouled Chaaban, S. Fellaoucene, El Hyadra et certains échantillons des stations de: Al-Natour et Ras Al-Tahar sont répartis du côté positif par rapport à l'axe 1, et l'un des facteurs les plus importants contrôlant cette corrélation est l'exposition au nord où le climat est plus humide et les pressions anthropiques, en particulier le pâturage, l'exploitation forestière, l'ouverture des pistes et les incendies, et vers le côté négatif du même axe, on trouve des échantillons de la station de: Ain El Kabira, Karkoum S.B, Ain Manchar, et quelques échantillons de la station de: Al-Natour et Ras Al-Tahar. L'un des facteurs les plus importants qui caractérisent cette corrélation est l'exposition au sud où le climat est plus sec, le substrat siliceux ou de faible calcaire, et ces stations ont presque à la même altitude. L'intensité des incendies, le pâturage des bovins a joué un rôle majeur dans la réalisation de la corrélation entre ces sols. (Fig. 4).

En ce qui concerne l'axe 2, les sols des stations de: Ouled Chaaban, Al-Natour, Ras Al-Tahar, et quelques échantillons de la station El Hyadra, sont répartis du côté positif de l'axe, là où le substrat est calcaire, l'altitude bas et la pression anthropiques, notamment le pâturage des ovins et caprins et les terres agricoles abandonnées, sont parmi les facteurs les plus importants contrôlant la corrélation entre ces sols, tandis que les sols des stations de: Ain El Kabira, Karkoum S.B, Ain Manchar, S. Fellaoucene et certains échantillons de la station El Hyadra, sont distribués à côté négatif de l'axe, où le substrat siliceux, les incendies et le pâturage des bovins, ont joué un rôle important dans la réalisation de la corrélation entre ces sols, et plus on va vers le négatif, plus l'altitude est élevée et donc plus l'humidité du climat est élevée, ce qui entraîne une augmentation d'humidité, de matière organique et de carbone organique dans ces sols. (Fig. 4).

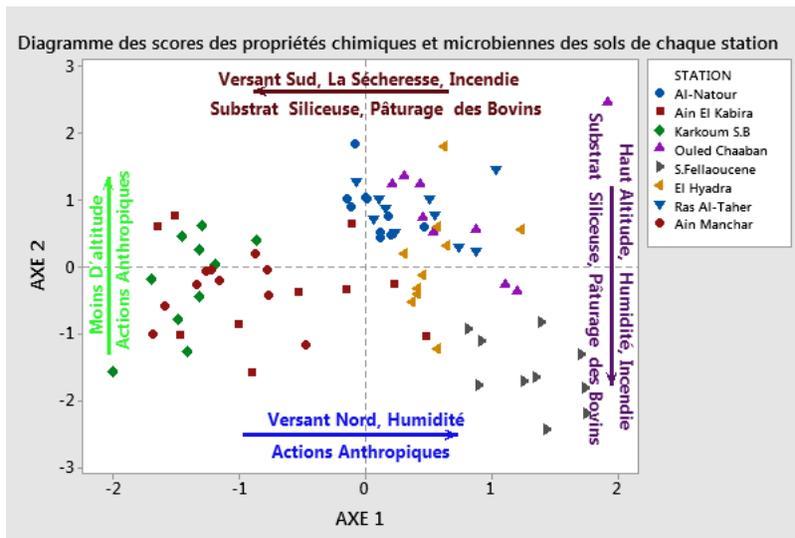


Figure n° 4 : Les principaux facteurs de la corrélation entre les propriétés chimiques et microbiennes des sols.

5. Conclusion

Cette étude a montré que la dynamique des propriétés chimiques et microbiennes des sols des matorrals de djebel Fellaoucene est fortement dépendante des facteurs climatiques, géographiques, anthropiques, des usages pastoraux des systèmes forestiers et les incendies ; où les résultats obtenus et les confrontations effectuées entre les sols ont révélé une corrélation et des similitudes significatives entre les différents sols en fonction de ces facteurs.

Les sols des stations versant sud se caractérisent par une augmentation de la masse et de l'activité microbienne malgré : la destruction du couvert végétal (par les incendies et l'utilisation pastorale), le brûlage de la matière organique, et la diminution de la teneur en eau. Les apports organiques via les déjections animales à ces stations peuvent améliorer l'efficacité et l'activité des micro-organismes.

Les quelques faits mentionnés ci-dessus indiquent que la problématique de la dégradation des sols est répandue dans toute la zone d'étude, mais qu'elle reste encore peu documentée ; sa sévérité, intensité et ses risques sont encore loin d'être rigoureusement évalués en raison de : l'hétérogénéité et de la complexité des paysages, de la multiplicité des perturbations et de leur intensité variable, la diversité des formes de dégradations, du microclimat, la diversité interrelations entre : le sol, la végétation, climat et action anthropique ; des fluctuations climatiques.

L'intensification anthropique (ouverture de sentiers pour l'extension des pâturages, tourisme, collecte des plantes médicinales, déforestations), et le surpâturage de défrent types de bétail (bovins, ovins, caprins), en particulier dans les sols récemment brûlés, ont entraîné une perturbation des propriétés microbiennes du sol et une baisse de son activité, malgré l'augmentation de la teneur en matière organique et en humidité. Dans de telles conditions, la résilience microbienne est renforcée à long terme dans ces sols forestiers.

Références

- Allam, A., Borsali, A. H., Kefifa, A., Zouidi, M., & Gros, R. (2020). Effect of fires on certain properties of forest soils in Western Algeria. *Acta Technologica Agriculturae*, 23(3), 111-117.
- Allam, A., Borsali, A. H., Kefifa, A., Zouidi, M., Da Silva, A. M. F., & RéBufa, C. (2021). Impact of water erosion on the properties of forest soils. *Notulae Scientia Biologicae*, 13(2), 10921-10921.
- Anderson, J.P.E., & Domsch, K.H. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10: 215-221.
- Aouadj, S. A., Degdag, H., Hasaoui, O., Nasrallah, Y., Zouidi, M., Allam, A., & Khatir, H. (2023). Contribution of GIS and Remote Sensing for the Risk Mapping of Soil Water Erosion at Saida Province (Western of Algeria). *Advanced Research in Life Sciences*, 7(1), 10-21.
- Aubert, G., 1978. Méthodes d'analyse des sols. CRDP, Marseille. 189 p.

6. Ayoub, A., Habib, B. A., Abelkrim, K., Mohamed, Z., & Raphael, G. (2019). Effects of overgrazing on the physico-chemical and biological properties of semi-arid forest soils in western Algeria. *Indian Journal of Ecology*, 46(4), 745-750.
7. Beare, M.H., Neely, C.L., Coleman, D.C., & Hargrove, W.L. (1990). A substrate-induced respiration (SIR) method for measurement of fungal and bacterial biomass on plant residues. *Soil Biol. Biochem.* 22: 585-594
8. Belgherbi, B., Benabdeli, K., & Mostefai, K. (2018). Cartographie du risque feux de forêt en Algérie : Application de la forêt de Guétarnia à l'Ouest algérien. *Ekologie (Bratislava)*, 37 (3), 289-300.
9. Bell, J.M., Smith, J.J., Bailey, V.L., & Bolton, H. (2003). Priming effect and C storage in semi-arid no-till spring crop rotations. *Biol. Fertil. Soils* 37: 237-244.
10. Benabadj, N., Bouazza, M., & Mahboubi, A. (2001). L'impact de l'homme sur la forêt dans la région de Tlemcen (Oranie-Algérie). *FORET MEDITERRANEENNE* t. XXII, n° 3. 269-274.
11. Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J. Y., & Boeuf, G. (2010). *The Mediterranean region: biological diversity in space and time*. Oxford University Press.
12. Boix Fayos, C., 1997. The roles of texture and structure in the water retention capacity of burnt Mediterranean soils with varying rainfall. *Catena* 31: 219-236.
13. Bouazza, M., Mahboubi, A., Loisel, R., & Benabadj, N. (2001). Bilan de la flore de la région de Tlemcen (Oranie-Algérie). *Forêt méditerranéenne*, 22(2), 130-136.
14. Borsali, A.H., Benabdeli, K., & Gros, G. (2012). Reconstitution postincendie des propriétés physico-chimiques et microbiologiques de sols forestiers algériens (forêt de Fénouane, wilaya de Saïda). 05-art-5-vol38(1). Page59.
15. Borsali, A.H., Zouidi M., Hachem K., Gros, R., & Hagenimana, T. (2017). Catabolic profiles of cultivable microbial communities in forest soils of western Algeria along a latitudinal gradient. *Advanced Studies in Biology*, 9(4), 157-169.
16. Borsali, A. H., Zouidi, M., Allam, A., & Gros, R. (2019). Effect of Aridity Gradient on Physico-chemical and Microbial Characteristics of Pine Forest Soils. *Asian Journal of Research in Biosciences*, 40-49.
17. BSA, (2009). Utilisation et interprétation des paramètres biologiques du sol. VOLLZUG BODEN BIOLOGIE.
18. Chabroulet, C. (2007). Étude De Remobilisation D'éléments Traces A Partir D'un Sol De Surface Contamine : Influence du vieillissement de la matière organique du sol sur la remobilisation du sélénium. THESE de doctorat. Ecole doctorale Terre, Univers et Environnement (TUE). Université Joseph Fourier Grenoble.
19. Clement, M. (2015). La dégradation des sols en France et dans le monde, une catastrophe écologique ignorée. 2015, LXXV, 1-4, 412-425, Acad. des Sc. d'Outre-mer, Paris.
20. Dabin, B. (1970). Analyse des matières organiques dans les sols. O.R.S.T.O.M. Services scientifique centraux - 70 - 74. Laboratoire Chimie des Sols et Pédologie Appliquée. sér. Pédol. no 490.
21. Dahmani, R. (2023). L'effet anthropique et bioclimatique sur la dynamique des matriciels de la région Ouest Algérien aspect qualitatif et quantitatif. Doctorat en Ecologie et Environnement
22. Univ.Tlemcen.2023, 206Pp.
23. Delgado, L. E., & Marín, V. H. (2020). Ecosystem services and ecosystem degradation : Environmentalist's expectation?. *Ecosystem Services*, 45, 101177.
24. Djebbouri, M., Zouidi, M., Terras, M., & Merghadi, A. (2022). Predicting suitable habitats of the major forest trees in the Saïda region (Algeria): A reliable reforestation tool. *Ekológia (Bratislava)*, 41(3), 236-246.
25. Dommerglies, Y., & Mangenot, F. (1970). *Écologie Microbienne Du Sol*. Masson Et C^{ie}, Éditeurs.
26. Durand J.H., 1954. Les sols d'Algérie. S.E.S. Alger, 243 pp.
27. Eswaran, H., & Reich, P. (2002). A preliminary assessment of the human impact on land systems of the world. *Transactions of the 17th WCSS Bangkok*, CDrom paper 2128.
28. GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri R.K. & Reisinger A.]. Genève, Suisse, GIEC, 103 p.
29. Guénon, R., Vennetier, M., Dupuy, N., Ziarelli, F., & Gros, R. (2011). Soil organic matter quality and microbial catabolic functions along a gradient of wildfire history in a Mediterranean ecosystem. *Appl. Soil Ecol.* 48: 81-93.
30. Guerin, F. (2016). Le Calcium Dans Le Sol. Pour les Chambres d'agriculture des Pays de la Loire SOLAG n°8 le 2/11/2016.
31. Ighilhariz, S. (2018). Effet de l'anthropisation sur la diversité des communautés microbiennes des sols dégradés. THESE de doctorat. Laboratoire de Biotechnologie des Rhizobiums et Amélioration des Plantes. Université Oran 1 Ahmed Ben Bella.
32. Johnson, D.W., & Curtis, P.S. (2001). Effects of forest management on soil C and N storage: meta-analysis. *Forest Ecol. Manage.* 140: 227-238.
33. Koull, N., & Halilat, M. T. (2016). Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie). *Et. Gest. Sols*, 23(1), 9-19
34. Kuzakov, Y., Friedel, J.K., & Stahr, K. (2000). Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1485-1498.
35. Merzouk, A. (2010). Contribution à l'étude phytoécologique et biomorphologique des peuplements halophiles dans la région Occidentale de l'Oranie (Algérie). Doctorat d'état, Univ. Tlemcen, 250Pp.

Les milliards de mètres cubes d'eau du fleuve Sénégal perdus en mer chaque année : faut-il que cela continue dans un contexte de changement climatique ?

Saïdou Ndao¹, Louis Eugène Victor Sambou², Papa Babacar Diop Thioune³

¹Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Eau et de l'Environnement (LaSTEE), UFR Sciences et Technologies (SET), Université Iba Der Thiam de Thiès (UIDT), Thiès, Sénégal,

²Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Eau et de l'Environnement (LaSTEE), UFR Sciences et Technologies (SET), Université Iba Der Thiam de Thiès (UIDT), Thiès, Sénégal, +

³ISFAR, Université Alioune DIOP de Bambey, Diourbel, Sénégal,

Abstract

La gestion du fleuve Sénégal par quatre Etats (Mali, Guinée, Sénégal et Mauritanie) est de nos jours citée comme référence de gestion concertée d'une ressource en eau. En effet, ces Etats se sont organisés autour de l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) qui a vu le jour en 1972. Cette organisation a été créée avec trois principes de base : le fleuve et ses affluents sont une propriété internationale ; leurs ressources sont exploitées de manière partagée et solidaire ; tout ouvrage est une propriété commune. Au fil du temps, l'OMVS est devenue une référence à travers le monde. L'aménagement de Manantali (le barrage et sa centrale, 2002) situé sur le Bafing, au Mali produit de l'énergie hydroélectrique avec une puissance installée de 200 MW, il produit en moyenne 800 GWh/an qui sont livrés aux sociétés nationales d'électricité du Mali (52 %), de la Mauritanie (15 %) et du Sénégal (33 %). Grâce au barrage de Diama, l'alimentation en eau de grandes villes comme Dakar, Nouakchott, Saint Louis... est sécurisée. Depuis la fin de l'année 2011, il alimente presque intégralement la ville de Nouakchott, située à environ 200 km du barrage sous un climat désertique. Toutefois, quelques 21 milliards de mètres cube d'eau douce sont perdus chaque année au niveau du barrage de Diama et à l'embouchure du fleuve alors qu'on pouvait s'en servir pour la revitalisation des vallées fossiles au Sénégal et peut être à autres fins utiles en Mauritanie. Mais les positions souvent prises par les Etats membres de l'OMVS vis-à-vis de la quantité d'eau perdue laissent entrevoir les limites de leur organisation. Dans un contexte de changement climatique où les plus pessimistes prédisent une diminution drastique des pluies qui aura des incidences sur les écoulements, ne faut-il pas rediscuter entre pays membres de l'OMVS pour trouver une alternative pour une réutilisation de ces quantités d'eau perdues, valorisables dans plusieurs domaines ?

Key Words : changement climatique, pertes d'eau, fleuve Sénégal, OMVS, alternative, GIRE

Billions of cubic meters of water from the Senegal River lost to the sea every year: should this continue in the face of climate change?

Résumé

The management of the Senegal River by four States (Mali, Guinea, Senegal and Mauritania) is now cited as a benchmark for the concerted management of a water resource. These states have organized themselves around the Organization for the Development of the Senegal River (OMVS), which was set up in 1972. This organization was founded on three basic principles: the river and its tributaries are international property; their resources are exploited on a shared and mutually supportive basis; and all works are jointly owned. Over time, the OMVS has become a benchmark throughout the world. The Manantali scheme (dam and power station, 2002) on the Bafing river in Mali produces hydroelectric power with an installed capacity of 200 MW. It generates an average of 800 GWh/year, which is supplied to the national electricity companies in Mali (52%), Mauritania (15%) and Senegal (33%). Thanks to the Diama dam, the water supply to major cities such as Dakar, Nouakchott and Saint Louis are secure. Since the end of 2011, it has supplied almost the entire city of Nouakchott, located around 200 km from the dam in a desert climate. However, some 21 billion cubic meters of freshwater are lost every year at the Diama dam and at the mouth of the river, whereas it could be used to revitalize the fossil valleys in Senegal and perhaps for other useful purposes in Mauritania. But the positions often taken by OMVS member states regarding the amount of water lost reveal the limits of their organization. In the context of climate change, where the most pessimistic predict a drastic reduction in rainfall, which will have an impact on run-off, is there not a need for OMVS member countries to discuss finding an alternative way of reusing these quantities of lost water, which can be put to good use in a number of fields?

Mots clés : climate change, water losses, Senegal River, OMVS, alternative, IWRM

1. INTRODUCTION

Couvrant 344 000 km² et s'étendant sur quatre pays (Mali, Guinée, Sénégal et Mauritanie), le bassin versant du fleuve Sénégal se divise en trois régions aux caractéristiques climatologiques et topographiques distinctes [1]. La gestion du fleuve Sénégal par ces quatre Etats est de nos jours citée comme référence de gestion concertée d'une ressource en eau. Elle fournit certes de l'eau pour 137 800 ha de terres aujourd'hui mais le potentiel est encore grand. Le barrage de Manantali, qui retient un volume d'eau de 12 km³, est destiné à produire de l'énergie (205 MW de puissance installée, début de production en 2002) et à réguler les débits (soutien d'étiage pour l'agriculture irriguée et la navigation, laminage des fortes crues pour limiter leurs effets catastrophiques, soutien des faibles crues destiné à garantir une inondation suffisante du lit majeur pour la pratique des cultures de décrue et le maintien de l'équilibre écologique) [2]. Le barrage anti-sel de Diama, construit à 50 km de l'embouchure du Fleuve Sénégal, était fonctionnel dès le 14 novembre 1985 et définitivement achevé en 1986. La fonction première de cet ouvrage est d'arrêter l'avancée de la langue salée dans le lit du fleuve pendant la saison des basses eaux et dont l'effet se faisait sentir jusqu'à 200 km en amont de l'embouchure. Le barrage de Diama a comme autres vocations, de créer en amont du barrage un lac artificiel d'une superficie de 235 km² et d'une capacité de 250 millions de m³ destinés essentiellement à l'irrigation de quelques 120 000 ha de terres et d'alimenter le lac de Guiers en eau douce [3]. Grâce au barrage de Diama, l'alimentation en eau de grandes villes comme Dakar, Nouakchott, Saint Louis, ... est assurée.

Toutefois, quelques 21 milliards de mètres cube d'eau douce sont perdus en mer chaque année au niveau du barrage de Diama et à l'embouchure du fleuve alors qu'on pourrait s'en servir pour la revitalisation des vallées fossiles au Sénégal et peut être à autres fins utiles en Mauritanie. Mais les positions souvent prises par les Etats membres de l'OMVS vis-à-vis de la quantité d'eau perdue laissent entrevoir les limites de leur organisation. Dans un contexte de changement climatique où les plus pessimistes prédisent une diminution drastique des pluies qui aura des incidences sur les écoulements et les ressources en eau disponibles, ne faut-il pas rediscuter entre pays membres de l'OMVS pour trouver une alternative pour une réutilisation de ces quantités d'eau perdues, valorisables dans plusieurs domaines. De surcroît, à mesure que les besoins et les usages en eau augmentent, les difficultés d'accès à cette ressource croissent [4]. Dans ce contexte, la notion de GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau) s'avère être la solution la plus viable. La GIRE est une méthode qui permet une gestion cohérente des ressources en eau, qui réponde aux besoins légitimes des populations, tout en étant respectueuse des écosystèmes aquatiques et des territoires, pour préserver l'avenir et l'héritage de l'humanité [5].

L'objectif de cet article est d'analyser l'évolution des besoins en eau pour les différents états membres de l'OMVS, d'exposer les éventuels risques de précarité des ressources en eau face à la menace du changement climatique et de montrer en quoi l'OMVS devrait améliorer ses stratégies en GIRE pour assurer une valorisation des ces milliards de mètres cubes perdus en mer et assurer la pérennité de la ressource en eau pour les différents états membres.

2. PRESENTATION DE LA ZONE ET CADRES CONCEPTUELS

2.1. Situation géographique

Le Sénégal est le second plus grand fleuve d'Afrique de l'Ouest après le Niger. Il est formé par la jonction, à Bafoulabé (Mali), des rivières du Bafing et du Bakoye qui prennent leur source dans le massif guinéen du Fouta Djallon (figure 1). Le Bafing, long de 760 km a un bassin versant de 30 000 km² et apporte presque la moitié du débit du fleuve. Le Bakoye a une longueur de 560 km [6].



Figure 1: Situation géographique du fleuve Sénégal

Le Fleuve Sénégal traverse la République du Mali, puis forme sur près de 800 km la frontière entre la Mauritanie et le Sénégal pour enfin se jeter dans l'Océan Atlantique à 20 km au sud de Saint-Louis, après un parcours de 1080 km. Le bassin versant du fleuve se situe entre les latitudes $10^{\circ}20'$ et $17^{\circ}30'$ N et les longitudes 7° et $16^{\circ}30'$ W. Il couvre les états de la Guinée (10,7% de la surface du bassin), du Mali (53,6%), du Sénégal (9,5%) et de la Mauritanie (26,1%) (OMVS, 1979). L'ensemble du bassin s'étend sur plus de 343.000 km² [7] et l'apport d'eau moyen annuel est de 24 milliards de m³ [8]. L'irrégularité dans les écoulements constitue la caractéristique principale des fleuves tropicaux et le Sénégal n'échappe à cette règle .

2.2. Climats

Le bassin versant du fleuve Sénégal traverse deux (02) climats principaux : le climat équatorial d'amont (Guinée) et celui plus aride des riverains d'aval (Mali, Mauritanie, Sénégal) [9] avec des zones pluviométriques qui varient (figure 2) .

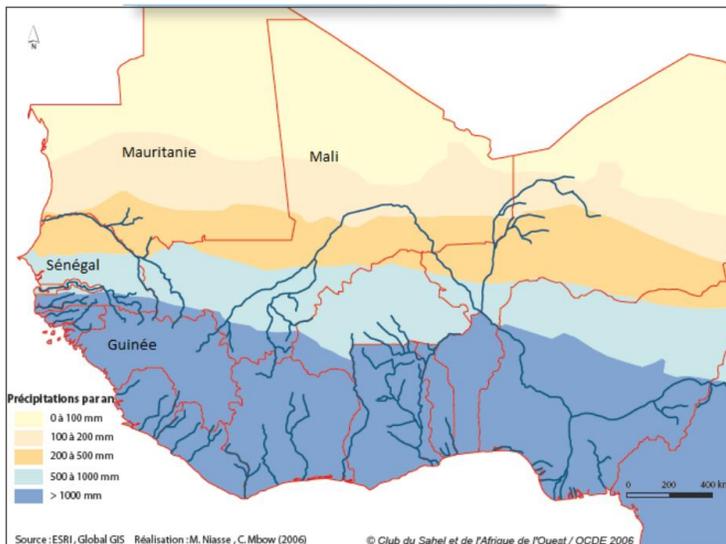


Figure 2: Zones pluviométriques en Afrique de l'Ouest selon les différents climats

2.3. Hydrographie et hydrologie

Le fleuve Sénégal, après un parcours de plus de 1700 km environ, prend une direction sud - ouest jusqu'à Saint Louis, puis longe le cordon littoral large de 100 à 400 m appelé la langue de Barbarie. Son issue dans l'océan atlantique est souvent variée. La première embouchure se situait à environ 27 km de Saint Louis. Les rivières sont nombreuses. Les plus importants sur la rive gauche du fleuve sont [6] :

- La Tahouey, qui met en relation le fleuve et le lac de Guiers ; dans les années 70, ce chenal sinueux a été remplacé par un canal artificiel quasi rectiligne qui améliore la recharge du lac avec les eaux du fleuve ;
- Le Djoudj, dans la cuvette argileuse du même nom qui se ramifie en divers marigots ;
- Le Gorom, entre les cuvettes du Djoudj et du Djeuss, des bras le reliant aux marigots de Lampsar et de Diovol ;
- Le Djeuss qui rejoint le marigot de Ngalam, en amont de Sanar ;
- Le marigot de Ngalam qui a une direction sud-nord et rejoint le Djeuss ;
- Le Lampsar ou Kassak, long d'une centaine de kilomètres et large de 30 à 100 m .

En plus de la cuvette du Djoudj, dans la boucle du fleuve, il existe une autre dépression, le N'Diael, parfois en eau très longtemps après de fortes crues, souvent à sec plusieurs années de suite. Les limites de cette dépression bordée de dunes sauf au nord sont indistinctes. Le N'Diael, était alimenté par le marigot de Niéti-Yone, un défluent du lac de Guiers avant que celui-ci ne fût barré en 1951. Cette pente quasi nulle est même par endroits inversée. Ces particularités morphologiques sont à la base du processus annuel de remontée saline vers l'amont du fleuve, avant la mise en fonction du barrage de Diama. Le régime des eaux du fleuve Sénégal se caractérise par l'alternance annuelle d'une période de crue et de décrue. La crue principale est alimentée par les pluies tombant sur le massif du Fouta Djallon. Elle débute en juin-juillet pour s'achever en octobre - novembre En régime naturel, le tronçon principal du fleuve conserve, de mi-juillet (début de la saison des pluies) jusqu'à février, les caractéristiques d'une eau fluviale, c'est-à-dire avec des débits importants. Du début de la saison sèche (novembre) au début de la saison des pluies (mi-juillet), le cours inférieur du fleuve a un régime de plus en plus proche de celui d'un estuaire, au fur et à mesure de la remontée de la langue salée dans le lit du fleuve jusqu'à 150 km de l'embouchure et parfois jusqu'à 200 km. L'intrusion d'eau marine débute lorsque le débit du fleuve devient inférieur à 600 m³/s. Les écoulements fluviaux freinent la remontée vers l'amont des eaux océaniques, tant qu'ils se maintiennent au-dessus de 50 m³/s. Lorsque le débit fluvial devient inférieur à 50 m³/s, la remontée salée ne dépend plus que de la durée de la période d'étiage, conditionnée par la date d'arrivée de la crue suivante [10]. L'alternance de poches d'eau et d'assèchement dans le lit est particulièrement observée en fin juin - début juillet, juste avant la saison des pluies. Les débits diminuent et les écoulements deviennent laminaires .

2.4. Changement climatique

Qualifié par certains auteurs de problème majeur pour le XXI^e siècle [11], le changement climatique est une réalité qui menace la planète entière et la pérennité de ses ressources naturelles. Pour les quelques décennies à venir, certaines études prévoient une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre de l'ordre de 0,2 ou 0,3 °C tous les dix ans [12]. Par son rythme, celle-ci mettra à rude épreuve la capacité d'adaptation des espèces — l'Homme y compris — et des écosystèmes. Que signifie vivre avec un climat qui se modifie plus rapidement que par le passé ? Habiter une région où les moyennes des températures et de pluviométrie, où la configuration même du climat ne sont plus stables ? [11]

Les indicateurs du changement climatique sont nombreux et nous pouvons citer entre autres :

- L'augmentation de la température de surface sur la Terre est de $0,8 \pm 0,2$ °C depuis 1870. Elle reste notablement différente pour les deux hémisphères : plus forte au Nord et plus forte aux hautes latitudes. Une variabilité entre continents est également observée. Enfin, une forte modulation sur des périodes annuelles et multi-décennales est également constatée, avec deux périodes de plus forte augmentation (approximativement de 1910 à 1940 et de 1975 à 2000) encadrées par des périodes de stagnation ou de décroissance. Les variations climatiques naturelles (El Niño, éruptions volcaniques, Oscillation Nord-Atlantique) y sont visibles .
- La température des océans, mesurée depuis les années 1950 par les bateaux de commerce ou les navires océanographiques (jusque vers 700 m de profondeur) et plus récemment par le système de bouées profilantes Argo, montre une augmentation moyenne globale depuis quelques décennies. Le contenu d'énergie thermique de l'océan a donc aussi augmenté, surtout depuis le début des années 1980. Ce réchauffement n'est pas uniforme. Il présente une importante variabilité régionale avec d'importantes oscillations pluriannuelles, voire décennales .

- La réduction de la surface des glaces océaniques arctiques. La banquise, dont la fonte ne contribue pas à l'élévation du niveau des océans, est un autre indicateur fort de l'accélération de l'évolution du climat : de 8,5 millions de km² stable dans la période 1950 - 1975, la surface des glaces de mer a connu une décroissance très rapide jusqu'à 5,5 millions de km² en 2010 .
 - Les indicateurs biologiques, tels que les déplacements de populations animales terrestres ou marines et l'évolution des dates d'activités agricoles saisonnières, montrent aussi la survenue d'un réchauffement climatique. Bien que difficiles à quantifier, ces éléments sont importants et ont des conséquences dans de nombreux domaines d'activités professionnelles où ils sont largement pris en compte .
- En résumé, depuis la seconde moitié du XIXe siècle, plusieurs indicateurs indépendants montrent sans ambiguïté un réchauffement climatique, post-Petit âge glaciaire, modulé dans le temps, avec une augmentation de 1975 à 2003 [13] .

Le lien entre le changement climatique et ses effets sur les ressources en eau s'établit à travers les extrêmes climatiques tels que sécheresses, orages violents, inondations etc. [14] . Le changement climatique pourra impacter les ressources en eau à travers la quantité, la variabilité, la période, la forme et l'intensité des précipitations [15] . Cela est/sera véritablement un gros problème en Afrique où la collecte des données ne se fait pratiquement plus depuis environ vingt ans dans de nombreux pays, et de plus, même si les données peuvent exister, les utilisateurs finaux n'en disposent pas, ce qui est un danger pour la conduite de leurs activités. Dans ce sens, la vulnérabilité et l'adaptabilité des communautés locales aux demandes d'eau en Afrique (humide, sèche, semi-aride ou aride) sont d'actualité de par les défis sociaux et économiques qu'elles soulèvent. En 2003, 850 millions d'individus dans le monde ont été victimes de l'insécurité alimentaire, parmi lesquels 60% vivent en Asie du sud et en Afrique subsaharienne [14] .

En Afrique sub-saharienne, ce changement des paramètres climatiques comme la température ; les précipitations, les vents, etc. est notable dans notre quotidien à l'échelle de tout un chacun. Ainsi, lorsque les pluies sont affectées, les fleuves sont affectés vu que les pluies tombées sur les bassins versants alimentent l'écoulement des fleuves. En outre, tout ce qui est végétation est aussi affecté ainsi que des paramètres climatiques comme l'humidité relative, sans compter l'impact sur l'agriculture traditionnelle qui dépend fortement des pluies tombées .

Tous ces faits montrent clairement que le changement climatique est une menace pour la pérennité de la ressource en eau face à des besoins qui ne cessent de croître.

2.5. Besoins en eau

« Un atelier de restitution du schéma de mobilisation des ressources en eau pour Dakar et la Petite Côte à l'horizon 2025 s'est tenu, sous la présidence du ministre d'Etat, ministre de l'Habitat, de la Construction et de l'Hydraulique. Il ressort de l'étude réalisée que 200 000 m³ supplémentaires par jour sont nécessaires pour satisfaire la demande d'ici 2025 et d'autre part, que les seules ressources mobilisables pour couvrir ces besoins sont celles des eaux douces du Lac de Guiers et celles saumâtres de la mer. Par ailleurs, plusieurs scénarii allant de la couverture totale des besoins à partir du Lac de Guiers ou d'unités de dessalement d'eau de mer à la combinaison de ces deux ressources, ont été identifiés. » Cet extrait de texte tiré du journal « *Le Soleil* » [16] témoigne des besoins en eau futures assez importantes pour le Sénégal et de la volonté des dirigeants de trouver des solutions et des sources d'eau supplémentaire notamment avec le projet de dessalement de l'eau de mer .

3. GESTION INTEGREE ET CONCERTEE DE LA RESSOURCE EN EAU

3.1. Lâchers d'eau en mer

« Au niveau de Saint-Louis, au Sénégal, 21 milliards de mètres cube d'eau douce sont perdus chaque année au niveau du barrage de Diama, en raison de l'ouverture, en 2003, d'un canal de délestage sur le fleuve Sénégal, pour éviter les inondations dans la ville de Saint-Louis.

L'embouchure du fleuve Sénégal migre vers le Sud en créant un port fluviomaritime, ce qui nécessite un passage au niveau de Saint-Louis dont la conséquence est la salinisation de la nappe .

Lorsqu'il y a de fortes pluviométries au niveau du bassin (du fleuve Sénégal), le barrage de Diama ne peut pas retenir les crues du fleuve, car c'est un barrage anti-sel. Si la cote d'alerte est dépassée, le barrage s'ouvre entièrement .

Les lâchers d'eau peuvent dépasser les 3 m³ la seconde, soulignant que si cela coïncide avec les hautes marées, l'eau du fleuve ne peut pas s'écouler vers la mer, ce qui fait qu'elle remonte vers la Langue de Barbarie .

Les deux eaux se rencontrent et créent une rupture au niveau de la brèche. Ce phénomène s'est produit en octobre 2012, créant une nouvelle brèche, suivie d'une deuxième, du 10 au 20 octobre .

Cela a évolué en créant une jonction entre les deux brèches. Il y avait deux brèches de 3 kilomètres mais, depuis le 23 mars 2013, il y a une rupture de la bande de 800 mètres [...], ce qui fait qu'il y a une ouverture de 7 kilomètres au sud de Saint-Louis jusqu'au village Pilote .

En période de haute marée, les lâchers doivent être modulés. Si on ouvre le barrage et que cela coïncide avec les hautes marées, il y a possibilité qu'il ait une rupture au niveau de la langue de Barbarie .

Une éventuelle disparition de la Langue de Barbarie provoquerait une entrée de vagues de l'océan Atlantique dans le fleuve. En saison sèche, on a de l'eau de mer très salée qui pénètre directement dans la nappe phréatique et la contamine .

De manière générale, l'augmentation du niveau de l'eau sur le fleuve a créé, avec l'intrusion marine, un impact négatif sur l'îlot de reproduction au niveau du Parc national de la Langue de Barbarie .

Cet endroit était le deuxième site d'accueil des touristes dans la région de Saint-Louis. »

Ces propos sont celles du lieutenant Oumar Kane, adjoint au chef du bureau d'information parcs et réserve du Nord de Saint-Louis lors d'une visite de la presse (GREP) au niveau de la brèche de Saint-Louis [17] .

En résumé afin d'éviter que le barrage crée une inondation en amont lors des fortes crues du fleuve, un canal a été ouvert pour évacuer l'eau excédentaire vers la mer .

3.2. Concept de la GIRE : cas du Sénégal

La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), au sens large, peut se définir comme :

« Un processus qui favorise le développement coordonné et la gestion de l'eau, des terres et des ressources associées, afin de maximiser le bien-être économique et social qui en résulte, d'une manière équitable, sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux » [18] .

L'idée de coordonner les différents secteurs de la gestion des eaux fait son chemin depuis plusieurs années dans une optique de simplification et de coopération entre les bénéficiaires de cette ressource. Il s'agit d'un principe conventionnellement accepté dans le domaine de la gestion des eaux (figure 3). Bien que cet objectif soit très louable, il est difficile à mettre en œuvre concrètement et peut être vu comme un concept idéaliste [19] .

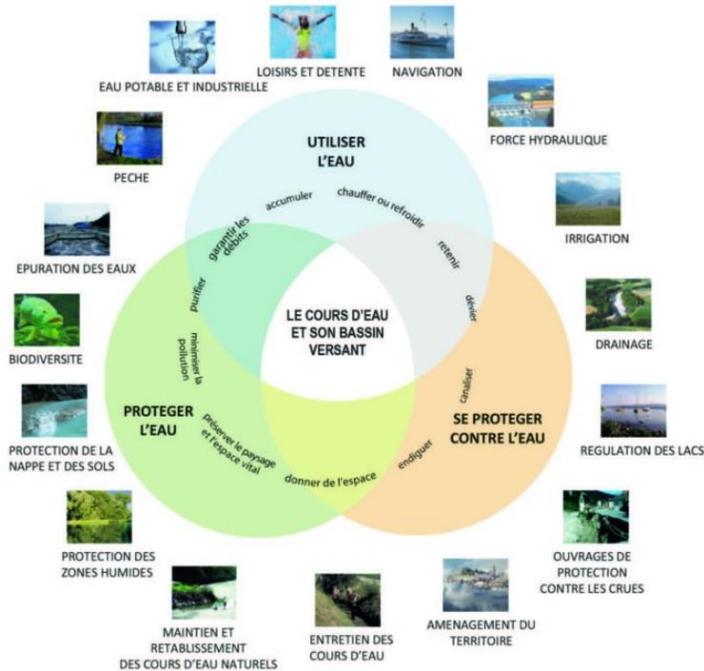


Figure 3: Représentation schématique du concept de GIRE

La GIRE a été développée dans le but de résoudre les **multiples problèmes liés à la gestion de l'eau**, soit la répartition des ressources, les problèmes de qualité, la biodiversité, etc. [19]. Le développement d'outils comme les systèmes de support de décision (DSS en anglais) est fortement encouragé pour une GIRE efficace et qui prend en compte des aspects d'analyse de l'environnement, de systèmes d'information, de modélisation ou encore la structure socio-économique et la communication [18]. Il est d'ailleurs important, dans une optique de développement durable, d'impliquer tous les acteurs au niveau de l'unité fonctionnelle géographique définie et d'intégrer les composantes économiques, sociales et environnementales pour avancer dans une direction claire et unanime. La collaboration apporte une meilleure coordination et améliore de plus la planification et la gestion futures.

En ce qui concerne le Sénégal, les organismes compétentes telles que la DGPRE (Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau) sont de plus en plus conscients de l'enjeu et mettent en place des plans d'actions. La DGPRE a lancé le PAGIRE (Plan d'Action de Gestion Intégrée des Ressources en Eau) avec différents axes de manœuvre pour les phases I et II présentés par le tableau 1 et la figure 4.

Tableau 1: Axes stratégiques de la phase I du PAGIRE

Axe 1 : Améliorer les connaissances et les moyens de gestion des ressources en eau	
1/Renforcement des moyens des services de gestion de l'eau	
2/Mise en place d'un système intégré d'Information et de connaissances sur l'eau	
3/Gestion des risques liés à l'eau	
Axe 2 : Créer un environnement favorable à l'application de la GIRE par des réformes légales, organisationnelles et politiques	
4/Réformes institutionnelle et juridique	
5/Renforcement de la participation des femmes et des autres catégories sociales défavorisées dans la gestion intégrée des ressources en eau	
6/ Charte GIRE	
Axe 3 : Améliorer la communication, l'information, l'éducation et la sensibilisation sur l'eau	
7/ Programme d'éducation, de communication et de sensibilisation sur l'eau	

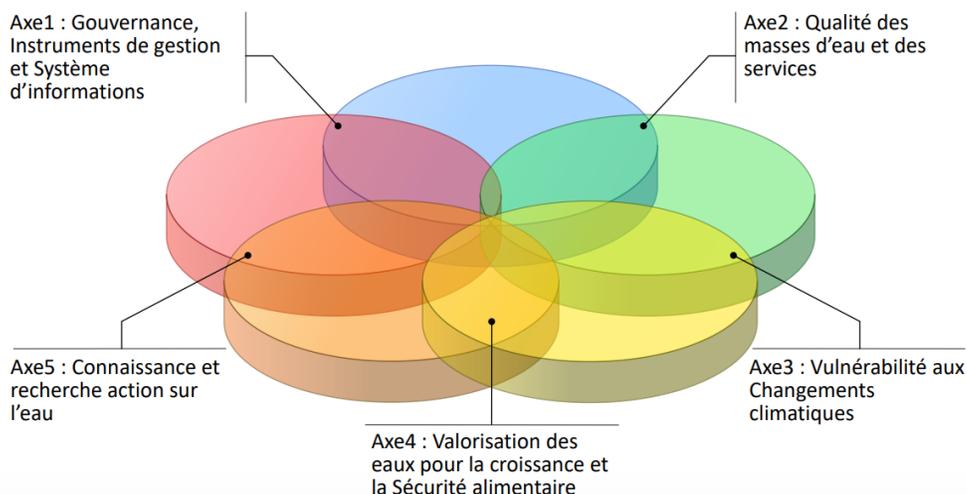


Figure 4: Axes stratégiques de la phase II du PAGIRE

Ces plans d'actions lancés témoignent qu'au niveau local et national il y a une prise de conscience et une volonté de prendre les choses en main vis-à-vis de la gestion de l'eau. En outre le changement climatique est pris au sérieux comme il apparaît au niveau de l'axe 3 de la phase II du PAGIRE. Cependant, dans les axes qui intègrent la bonne gouvernance, les réformes institutionnelles, etc. la gestion du fleuve Sénégal et plus précisément des ressources en eau perdues en mer s'avère être un point très important et cela passe par une gestion concertée avec les autres pays membres de l'OMVS [20].

3.3. Gestion concertée entre Etats membres

Beaucoup d'études au cours des dernières années montrent qu'historiquement peu de tensions et disputes autour de l'eau ont débouché sur des conflits armés ouverts, c'est-à-dire des « guerres de l'eau » [21] [22] [23] [24]. Les travaux effectués par l'Université d'Etat de l'Oregon sur les conflits et la coopération dans les bassins fluviaux internationaux montrent que jusqu'ici les relations entre pays riverains d'un fleuve international peuvent être tendues, des disputes peuvent survenir, mais que de façon générale ces pays en arrivent presque toujours à trouver une formule de coopération plutôt qu'à opter pour la confrontation ouverte [21] [24]. Cela dit, avec la pression de plus en plus accentuée sur les ressources en eau (du fait de l'accroissement de la demande) et de la réduction de la disponibilité de la ressources (suite à la variabilité et au changement climatique), beaucoup s'attendent à la multiplication des disputes autour de l'eau, lesquelles disputes peuvent mener à la tension régionale voire déboucher sur des conflits régionaux coûteux [22]. Avec la compétition grandissante autour de l'eau en Afrique, [25] pense que les conflits de l'eau y deviennent inévitables et pourraient mettre en cause la stabilité régionale, à moins que les dispositions appropriées soient prises pour les prévenir. L'Afrique de l'Ouest même n'est pas épargnée : parmi les 17 bassins fluviaux identifiés à l'échelle globale comme des zones à haut risque (c'est-à-dire des bassins où les conditions sont mûres pour que surviennent des tensions politiques et des conflits), sont en Afrique dont 2 en Afrique de l'Ouest : le fleuve Sénégal et le bassin du lac Tchad [22] [24].

À la racine de beaucoup des tensions et disputes autour de l'eau, on trouve souvent deux séries de facteurs : (a) un changement rapide et profond dans les conditions physiques du cours d'eau, par exemple à partir de la construction de barrages, la diversion de l'eau ou la réalisation de périmètres d'irrigation ; (b) l'incapacité des institutions existantes à absorber et gérer de façon efficace lesdits changements, par exemple à travers des organisations de bassin ou des accords de coopération [22].

Ces deux facteurs semblent être à l'œuvre dans beaucoup de bassins fluviaux de l'Afrique de l'Ouest, faisant donc de cette région une zone à haut risque de conflits de l'eau, à moins que les mesures appropriées soient prises à temps pour les prévenir. Plusieurs articles scientifiques analysent les défis qui se posent dans la gestion des cours d'eau transfrontaliers en Afrique de l'Ouest. Tous ces articles décrivent certaines des disputes et tensions enregistrées autour de bassins internationaux ces dernières années. Pour ce qui est du fleuve Sénégal les tensions entre le Sénégal et la Mauritanie lors de l'annonce du PRVF (Programme de Revitalisation des Vallées Fossiles) par le Sénégal sont l'exemple le plus marquant. Ces divergences sont donc un obstacle que doivent surmonter les pays membres de l'OMVS pour que tous les pays puissent profiter de la ressource en eau pleinement et qu'elle ne soit pas perdue en mer. Cela est d'autant plus important que les besoins en eau ne cesseront de croître dans le temps et les quotas d'utilisation de l'eau du fleuve devront être renégociés à un moment donné pour le bien de tous les Etats membres.

4. CONCLUSION

En définitive, le fleuve Sénégal constitue la ressource en eau de surface la plus importante pour tous les pays membres de l'OMVS. De ce fait les milliards de mètre cubes perdus en mer chaque année représentent un gâchis énorme face à des besoins en eau de plus en plus croissant pour les différents pays et un changement climatique très menaçant. Si chaque pays, de son côté, a pris des initiatives pour une gestion intégrée de ses ressources en eau, il demeure que les différents pays doivent s'entendre sur la gestion de la ressource commune pour avancer ensemble vers le développement durable. La responsabilité incombe donc aux pouvoirs politiques de se réunir et de trancher une bonne fois sur cette problématique afin d'éviter de retarder l'essor des différents pays.

Les perspectives en termes d'alternative pour la valorisation des ressources en eau perdues en mer sont nombreuses et nous pouvons citer :

- L'aménagement de lacs artificiels (au niveau des différents Etats membres) qui seront alimentés par des canaux lors des lâchers d'eau. L'eau de ces lacs pourrait être traitée et servir à alimenter les différents pays en eau potable.

- La remise en eau des cours d'eau fossilisés (vallées fossiles) afin de restaurer le réseau hydrographique des différents pays et contribuer au développement d'activités agricoles irrigués sans contraintes d'eau sur toute l'étendue du territoire. Cela permettra également de rétablir certains écosystèmes aquatiques et de plus développer des activités comme la pêche, l'élevage, etc.
 - La création de retenues supplémentaires à travers la mise en place de nouveaux barrages qui permettront également de produire de l'énergie supplémentaire aux différents pays.
- Toutes ces idées représentent des solutions envisageables mais encore faudrait il qu'elles soient bien organisées et bien coordonnées entre les différents Etats membres de l'OMVS. Et enfin l'ensemble de ces réalisations devrait faire l'objet d'études d'impacts environnementaux afin de bien peser le pour et le contre et s'y prendre de la manière la plus adéquate.

REFERENCES

1. J. C. Bader, Monographie hydrologique du fleuve Sénégal : de l'origine des mesures jusqu'en 2011, Marseille: Institut de Recherche pour le Développement (IRD) Editions, 2014.
2. J. C. Bader, J. P. Lamagat et N. Guiguen, «Gestion du barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal: analyse quantitative d'un conflit d'objectifs», *Hydrological Sciences Journal*, p. 15, 2010.
3. A Kane, «Régulation du Fleuve Senegal et flux de matières particulières vers l'estuaire depuis la construction du barrage de Diama», p. 12, 2005.
4. D. Diop, «Accès à l'eau et agriculture dans la vallée du fleuve Sénégal», *GESTES*, p. 13, 2008.
5. J. F. Donzier, «Investir dans la GIRE, ça rapporte», *TSM*, p. 10, 2009.
6. A Thiam, Etude de la flore vasculaire, de la végétation et des macrophytes aquatiques proliférant dans le delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers (Sénégal), Dakar: FST - UCAD, 2012.
6. P. Michel, Les bassins du fleuve SÀnÀgal et de la Gambie. Etude gÅomorphologique, Vols. %1 sur %2Tome 1, Tome 2 et Tome 3, Paris: Mémoire ORSTOM n°63, 1973, p. 752.
7. M. Mainguet, «L'homme et la sÅcheresse», *Masson GÅographie*, p. 335, 1995.
8. M. Boinet, La gestion intégrée des ressources en eau du fleuve Sénégal : bilan et perspectives, Paris: Université Paris Sud 11, 2011.
9. C. Rocheteau, Le bassin du fleuve SÀnÀgal. Monographies Hydrologiques n° 1, Paris: ORSTOM Paris, 1974, p. 325 + annexes.
10. V. Van Gameren, R. Weikmans et E. Zaccari, L'adaptation au changement climatique, Paris: Editions La découverte, 2014.
11. GIEC (GROUPE D'EXPERTS INTER GOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT), *Climate Change 2013. The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report, Summary for Policymakers*, Intergovernmental Panel on Climate Change, GIEC, 2013.
12. Institut de France, Académie des sciences, «Le changement climatique», Institut de France, Académie des sciences, Paris, 2010.
13. C. Nguimalet, G. Mahe, A. Laraque, D. Orange et B. M. Yakoubou, «Note sur le changement climatique et la gestion des ressources en eau en Afrique : Repenser l'usage et l'amélioration des services éco-systémiques d'eau», *Geo-Eco-Trop*, Vols. %1 sur %240, 4, pp. 317 - 326, 2016.
14. S. M. Adams et D. E. Peck, «Effect of climate change on water resources», *Choices*, vol. 23 (1), pp. 12 - 14, 2008.
15. Sénégal services, « Besoins en eau : 200.000 m3 par jour pour satisfaire la demande d'ici 2025, » Dakar, 2023. <https://senegalservices.sn/actualite/besoins-en-eau-200000-m3-par-jour-pour-satisfaire-la-demande-dici-2025>
16. S. B. Sall, «Barrage de Diama : environ 21 milliards de m3 d'eau douce perdus chaque année», *Senepius*, 2013. <https://www.senepius.com/article/barrage-de-diama-environ-21-milliards-de-m3-d%E2%80%99eau-douce-perdus-chaque-ann%C3%A9e>
17. VSA, «GIRE, » 2023. <https://gire.ch/definition/definition-de-gire/>
18. F. Molle, «Nirvana Concepts, Narratives and Policy Models: Insights from the Water Sector», *Water alternatives*, p. 26, 2008.
19. DGPRE, «Plan d'Action GIRE: Processus, approche territoriale et méthodologie», *DGPRES*, Dakar, 2019.
20. A Wolf, «Water, Conflict, and Cooperation. In Ruth S. Meinzen-Dick and Mark W. Rosegrant (eds) : *Overcoming Water Scarcity and Quality Constraints*. 2020 Focus 9 : October,» 2001.
20. S. L. Postel et A. T. Wolf, «Dehydrating Conflict», *Foreign Policy*, vol. 18, 2001.
21. A R. Turton, «Water wars in Southern Africa: Challenging conventional wisdom. In *Water for Peace in the Middle East and Southern Africa*,» *Green Cross International*, pp. 112-130, 2000.
21. T. Wolf, S. B. Yoffe et M. Giordano, «International Waters: Identifying Basins at Risk», *Water Policy*, vol. 5, pp. 29-60, 2003.
22. P. J. Ashton, «Avoiding Conflicts over Africa's Water Resources», *Ambio*, vol. 31 (3), pp. 236-242, 2000.

Une phytodiversité perturbée des piémonts montagneux (Algérie occidentale)

Benabadi Noury¹

(1) Professeur, Faculté SNV/STU, Université de Tlemcen Algérie

Résumé

Une végétation relativement diversifiée regroupe ou abrite une flore on peut dire relativement diversifiée. L'approche floristique conduite grâce aux caractérisations botaniques (méthode Raunkier, 1905), chorologiques et biogéographiques au Sud de Sebdo montre un tapis végétal où les espèces végétales xériques et toxiques semblent dominer dans ces milieux agro-pastoraux.

Ce travail sur la flore de la région d'étude (stations de Sidi Djilali et Bouihi) permet de remarquer :

L'étude bioclimatique accuse une variation entre l'ancienne (1913-1938) et la nouvelle période (1990-2010). Les précipitations atmosphériques diminuent et les températures montrent une certaine élévation. Les stations météorologiques évoluent vers des étages plus arides.

Toutes les stations sont de types semi-continentaux (M-m oscille entre 25 °C et 35°C).

L'indice xérothermique des trois stations, (ancienne et nouvelle période) appartient au climat Méditerranéen ($S < 7$),

L'indice de De Martonne situe les stations dans des régimes semi-arides (Sebdo et El-Aricha, ancienne période) et dans des écoulements tempérés à régime désertique pour la nouvelle période.

La sécheresse dure six mois et même plus dans l'année ce qui correspond à son accentuation en particulier durant la nouvelle période (1990-2010) d'après les diagrammes ombrothermiques.

Le Q₂ d'Emberger indique que les deux stations de Sebdo et d'El-Aricha se déplacent vers la droite (c'est-à-dire vers des variantes hivernales sèches), ces stations montrent un décrochement du semi aride inférieur à hiver frais vers le semi aride moyen à hiver tempéré. La deuxième station (El-Aricha) glisse de l'aride supérieur à hiver froid vers l'aride moyen à hiver froid. La troisième station d'Ouled Mimoun quand à elle accuse un déplacement vers la gauche et décroche du semi aride supérieur à hiver tempéré vers le semi aride inférieur et garde la même variante hivernale.

Mots clés : végétation, indices bioclimatiques, caractérisation botanique, perturbation de la végétation, Sidi Djilali et Bouihi (Algérie occidentale).

A disturbed phytodiversity of the mountainous foothills (western Algeria)

Abstract:

The bioclimatic study shows a variation between the old (1913-1938) and the new period (1990-2010). Atmospheric precipitation decreases and temperatures show some elevation. The meteorological stations evolve towards more arid levels.

All the stations are semi-continental types (M – m oscillates between 25°C and 35°C). The xerothermic index of the three stations, (old and new period) shows the belonging to the Mediterranean climate ($S < 7$),

The De Martonne index places the stations in semi-arid regimes (Sebdo and El-Aricha, old period) and in temperate flows with a desert regime for the new period. The drought lasts six months and even more in the year which corresponds to its accentuation in particular during the new period (1990-2010) according to the ombrothermic diagrams.

The Q₂ of Emberger indicates that the two stations of Sebdo and El-Aricha

move to the right on the climagram (i.e. towards dry winter variants), these stations show a shift of the lower semi arid to cool winter to medium semi-arid to temperate winter. The second station (El-Aricha) slides from upper arid with cold winter to middle arid with cold winter. The third station of Ouled Mimoun shows a shift to the left and drops from the upper semi-arid with temperate winter to the lower semi-arid and keeps the same winter variant. A vegetation of the region includes or shelters a flora that can be said to be relatively diversified. The floristic approach conducted through botanical (Raunkier method, 1905), morphological and biogeographical characterizations south of Sebdo shows a plant cover where xeric and toxic plant species seem to dominate in these agro-pastoral environments. This work on the flora of the study region (stations of Sidi Djilali and Bouihi that we have described) allows us to notice the distribution of species:

- In Sidi Djilali, we have the following distribution: Phanerophytes 2, Chaméphytes 11 Hemicryptophytes 4, Geophyte 1, Therophytes 42;
- In El-Gor, we have the following distribution: Phanerophytes 2, Chaméphytes 8, Hemicryptophytes 4, Geophyte 1, Therophytes 12.

Which brings us to the order where therophytes occupy the first place:

$Tb \rightarrow Ch \rightarrow H\acute{e} \rightarrow Pb \rightarrow G\acute{e}$

Key Words: vegetation, bioclimatic indices, botanical characterization, disturbance of vegetation, Sidi Djilali and Bouihi (Western Algeria)

¹ Corresponding author: benabadi.n@gmail.com

1.INTRODUCTION

En région méditerranéenne le climat semble être marqué par une variation pluviométrique. Dans la même région toute vie végétative se trouve dominée par la sécheresse estivale selon Emberger [1]. Les facteurs climatiques (températures, précipitations, ..) n'ont une véritable indépendance ni en météorologie ni en écologie Sauvage [2]. Le problème majeur de notre époque contemporaine est celui de la désertification qui semble actuellement retenir l'attention de la communauté en général et celle de la communauté scientifique tout particulièrement. Cette désertification en tant que crise de l'environnement peut aboutir à des paysages désertiques, celle-ci fut-elle l'objet d'une prise en charge par la communauté internationale avec une médiatisation assez poussée, on peut dire ? Les travaux dans ce domaine ont été quand même encouragés et surtout financés par les organisations internationales onusiennes.

Devant cette situation nous avons eu recours aux formules climatiques proposées par les auteurs pour une approche synthétique du climat recherchant une classification des types de climat qui puissent rendre compte au mieux du comportement de la végétation en question, celle-ci a été mentionnée par plusieurs chercheurs [3], [4]. Afin de pouvoir mener cette approche bioclimatique, et étant donné l'absence en partie des données thermiques et pluviométriques de la zone d'étude on a été contraint de se référer aux stations avoisinantes jugées représentatives : (Sebdoù à l'Ouest, El-Aricha au Sud et Ouled Mimoun au Nord-est).

Notre étude consiste à mettre en évidence le degré de sécheresse à partir des données pluviométriques et de la température qui selon sont les deux facteurs limitant pour la vie végétative.

Benabadi et Bouazza [5] affirment que « les steppes algériennes sont encadrées par les isothermes « m » -2 °C et 6 °C.

En hiver les températures minimales des stations connaissent des valeurs oscillantes entre -2,9 °C au Sud et -1.5 °C au Nord. Pour l'ensemble des stations, le mois le plus froid est janvier. Ainsi Hadjadj Aouel [6] entend par saison froide, la période pendant laquelle les températures sont les plus basses de l'année et où les températures moyennes sont inférieures à 10°C.

Les basses températures expliquent l'absence de certaines espèces dont la vie semble être liée aux hivers tempérés ». Si on considère le volet dédié à la végétation, celui-ci est géré par les successions on peut dire qui se sont produites durant des périodes glaciaires depuis le Pliocène moyen (plus de quinze millions d'années) où il a été observé des phases hyper arides et de phases relativement humides.

Nous avons mené en parallèle une approche floristique à travers les deux régions localisées considérées entre les formations préforestières et steppiques, il s'agit de Sidi Djilali et El-Gor. Quelles sont les espèces susceptibles de former leur cortège floristique ? La caractérisation botanique les types morphologiques et chorologiques recensés peuvent-ils confirmer ou infirmer les perturbations liés aux deux facteurs souvent signalés notamment l'action anthropique et le bioclimat ? Certains auteurs en suggèrent une analyse biogéographique peuvent-ils proposer ou éclairer par quelques corrélations entre les données paléo climatiques et la mise en place de tel ou tel groupe de taxa ?

La connaissance de ces processus pourrait-elle constituer une approche obligée à l'interprétation et à la compréhension des perturbations climatiques et floristiques ?

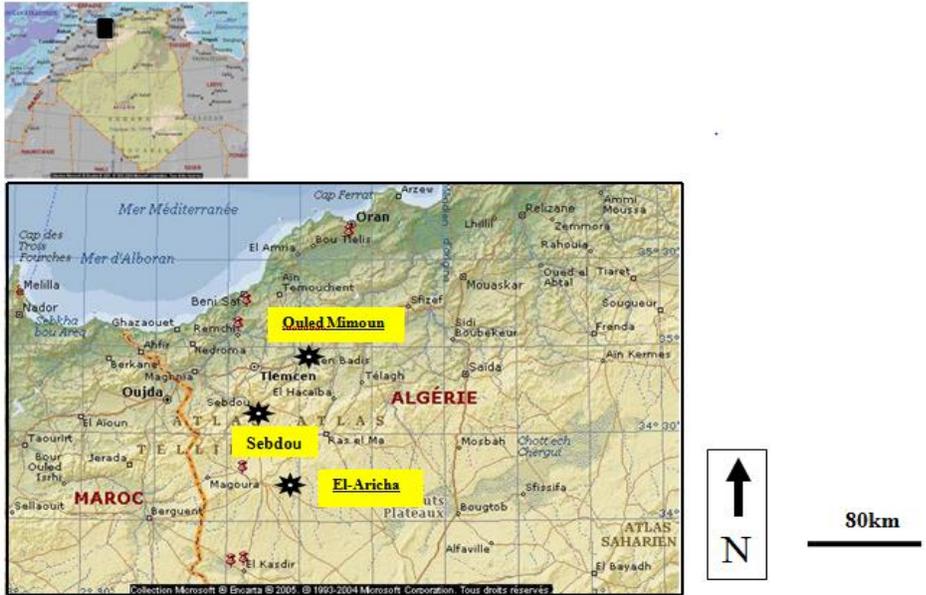
Pour essayer d'apporter quelques réponses aux attentes, nous traiterons:

- Méthodologie,
- Résultats et interprétations
- Bioclimat,
- Composition floristique et les perturbations,
- Conclusion,
- Références bibliographiques.

2.MATERIEL ET METHODES

2.1.Situation géographique (carte de situation géographique)

Les hautes plaines culminent plus au sud d'El- Aricha à plus de 100 m d'altitude, la région appartient à la wilaya de Naama, Elle se situe non loin de la frontière de l'état du Maroc. Regroupant l'ensemble des 03 stations météorologiques, la région se trouve en Algérie occidentale, au Sud de la wilaya de Tlemcen et se caractérise par les plaines steppiques (partie méridionale de l'Atlas Tellien). La région s'allonge au nord avec une longitude de 1°16' ouest et une latitude de 34°12' Nord, par contre au Sud elle s'étend sur 0°46' est de longitude et 33°58' de latitude nord.



Carte : Situation géographique des 03 stations météorologiques



40 km
Carte : Situation géographique de la région

2.2. Bioclimat (carte de situation géographique des stations météorologiques)

2.2.1. Ecarts thermiques

L'élément température est utilisé en phytoclimatologie pour rendre compte de l'apport d'énergie à la végétation à défaut des observations du rayonnement. La température agit sur les vitesses de croissance comme sur tout processus organique. La répartition spatiale des températures dépend de très nombreux facteurs généraux et locaux ; certains sont périodiques, et l'effet bioécologique de la température aura toujours un triple aspect : effet de la température moyenne, effet des valeurs extrêmes, effet des périodicités, donc selon Emberger 1955 b. in Bouazza [7] pour connaître la variation des températures on ne doit prendre en considération que celles qui ont une signification biologique ce sont :

- La moyenne des "minima" (m) ;
- La moyenne des "maxima" (M) ;
- La température moyenne (T).

2.2.2. Indices bioclimatiques

- Amplitude thermique et indice de continentalité de Debrach [8].

La classification thermique des climats proposée par Debrach [8] s'exprime par l'amplitude $M - m$:

- Climat insulaire : $M - m < 15^{\circ}\text{C}$;
- Climat littoral : $15^{\circ}\text{C} < M - m < 25^{\circ}\text{C}$;
- Climat semi continental : $25^{\circ}\text{C} < M - m < 35^{\circ}\text{C}$;
- Climat continental : $35^{\circ}\text{C} < M - m$.

- Indice xérothermique d'Emberger [1]

Pour apprécier l'importance de la période de sécheresse estivale, Emberger [1] a proposé cet indice

$$I_s = PE / M$$

PE : Total des moyennes des précipitations estivales (mm)

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud ($^{\circ}\text{C}$) ne doit pas dépasser la valeur 7 pour le climat Méditerranéen, tandis que Daget [9] limite cette valeur à 5. Emberger [1] a formulé un indice qui caractérise l'intensité de la sécheresse estivale et cela parce que le Q_2 ne tient pas de la xéricité du climat.

Selon Emberger [1] du point de vue phytogéographique, un climat ne peut être décrit comme méditerranéen que si $S < 7$.

- Indice de De Martonne 1926 cité par [27]

Le calcul de cet indice nous procure une facilité et efficacité dans les calculs afin d'évaluer l'intensité de la sécheresse, il est donné par la relation suivante :

$$I = P / (T+10)$$

P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm),

T : Température moyenne annuelle ($^{\circ}\text{C}$).

- Diagrammes ombrothermiques

Bagnouls et Gausson [10] considèrent qu'un mois est sec si la moyenne des précipitations est inférieure ou égale au double de la moyenne des températures ($P \leq 2T$). Ils ont proposé des diagrammes qui permettent de comparer l'évolution des valeurs des températures et des précipitations. À ce sujet Emberger [1] précise : « un climat peut être météorologiquement méditerranéen, posséder la courbe pluviométrique méditerranéenne caractéristique, sans l'être écologiquement ni biologiquement, si la sécheresse estivale n'est pas accentuée ».

Le diagramme ombrothermique proposé par Bagnouls et Gausson [10] permet de dégager la période sèche, en considérant qu'un mois est sec, lorsque le total des précipitations est inférieur ou égal au double de la température mensuelle, ce qui traduit la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes.

- Climagramme pluviothermique d'Emberger (Figure 1 : Climagramme pluviothermique d'Emberger)

Afin d'établir ce climagramme, il a fallu se baser sur les séries de végétations qui sont des groupements végétaux ayant les mêmes aptitudes écologiques. Pour cela Emberger [11] [12] [14] a proposé de définir des sous classes dans le bioclimat méditerranéen en se basant sur l'humidité et la rigueur hivernale.

$$Q_2 = 2000P/M^2 - m^2$$

P : Pluviométrie annuelle en mm,

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud exprimé en degré Kelvin,

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en degré Kelvin,

Cela est caractérisé par le quotient pluviothermique Q_2 .

2.2.3.. Influence des facteurs climatiques

Selon certains auteurs signalés plus haut, la majeure partie de la zone d'étude se situe dans le semi-aride avec quelques nuances bioclimatiques. Seule la partie nord-ouest de la daïra fait partie des monts de Tlemcen et se situe dans le subhumide froid avec une moyenne annuelle des précipitations de l'ordre de 560 mm.

- Neige

La neige a des effets bénéfiques sur les jeunes plantes car elle constitue une protection contre la gelée et grâce à elle le ruissellement est considérablement réduit, ce qu'il lui fait attribué le titre du meilleur régulateur de l'approvisionnement en eau.

Selon Djebaili [14] dans les hautes plaines du sud oranais, il tombe 3 à 4 jours de neige par an, l'épaisseur de la couche de neige très mince ne dépasse pas 10cm. Sous une vive insolation elle fond brusquement et expose les pâturages à une grande radiation.

Malgré les altitudes assez élevées Sebdou : 920m, El Aricha : 1250m et Ouled Mimoun : 702m, le nombre de jours d'enneigement ne dépasse pas les 4 jours. Cependant sur les hautes plaines, les chutes de neige se renouvellent souvent fréquemment.

- Gelée blanche

La gelée blanche est conditionnée par la température, elle commence lorsque le minimum de température tombe au dessous de 10°C. Elle est fréquente lorsque la température minimale moyenne du mois le froid est inférieure à 3°C.

Sur les steppes de l'Ouest algérien, les hivers sont rigoureux ($-2\text{ °C} < m < +2.6\text{ °C}$) au niveau des sommets des Djebels avec $m > -3\text{ °C}$ [14]. Selon Greco[15] les gelées sont nombreuses, on compte 40 à 60 jours de gelées blanches d'octobre à mai au dessus de 900 m, dont une à trois gelées tardives en avril. Dans les hautes plaines steppiques les jours de gelée blanche sont concentrés entre le mois de novembre et mars.

2.2.4. Composition floristique

Il est intéressant de connaître la diversité et l'hétérogénéité des peuplements végétaux qui forment ces zones (El-Gor et Sidi Djilali). Plusieurs relevés floristiques ont été effectués sur des surfaces homogènes Gounot [16], selon la méthode Braun-Blanquet (1951) in [27]. Un auteur a mentionné qu'en zone aride, la richesse floristique dépend du nombre d'espèces annuelles lors de l'exécution Djebaili [14].

Les taxons identifiés (à partir des flores de Quezel et Santa [16]) et inventoriés ont fait l'objet d'une caractérisation (botanique, morphologique et biogéographique) selon Raunkier [17].

3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

3.1. Bioclimat

3.1.1. Amplitude thermique et indice de continentalité de Debrach [8]

Tableau N°1 : Amplitude thermique et indice de continentalité de Debrach [8]

Stations	M°C		m (°C)		M-m		Types de climats	
	Ancienne période (1913-1938)	Nouvelle période (1990-2010)						
Sebdou	33.88	32.25	1.3	3.2	32.58	29.05	Semi-continental	Semi-continental
El-Aricha	35.33	35.56	-1.65	-0.15	36.98	35.71	Semi-continental	Semi-continental
Ouled Mimoun	32.8	32.2	5.2	3.5	27.6	28.7	Semi-continental	Semi-continental

Toutes les stations affichent des types de climats identiques (semi-continentaux) malgré de légères différences numériques non significatives, en effet la différence M – m reste comprise entre 25 °C et 35°C.

3.1.2. Indice xérothermique d’Emberger [1]

Tableau N°2 : Indice xérothermique des stations des deux périodes

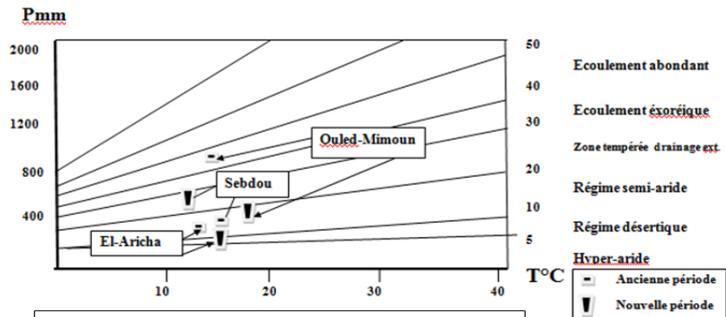
Stations	PE (mm)		M (°C)		Indices (S)	
	Ancienne période	Nouvelle période	Ancienne période	Nouvelle période	Ancienne période	Nouvelle période
Sebdou	27	23.21	33.88	32.35	0.796	0.71
El-Aricha	43.8	21.48	35.56	32.56	1.23	0.66
Ouled Mimoun	26	11	32.8	23.2	0.792	0.47

Pour l’ancienne période El-Aricha affiche l’indice le plus élevé (1.23) devant les deux autres Sebdou (0.796) et Ouled Mimoun (0.792).

Pour La nouvelle période Sebdou montre l’indice le plus élevé (0.71) devant les deux autres El-Aricha (0.66) et Ouled Mimoun (0.47).

L’ensemble des résultats obtenu montre en effet l’appartenance de la région et stations au climat Méditerranéen (S< 7), tous les indices de l’ensemble des stations (anciennes et nouvelles périodes) varient entre 0.47 (Ouled Mimoun, période nouvelle) et 1.23 (El-Aricha ancienne période).

2.1.3. Indice d’aridité de De Martonne



- Pour l'ancienne période ; Sebdu et El-Aricha se situent dans un régime semi-aride, la station de Ouled Mimoun se trouve dans un écoulement abondant.
- Concernant la nouvelle période : Sebdu et El-Aricha occupent les aires à écoulement tempéré et régime désertique, Ouled Mimoun par contre occupe l'aire semi-aride.

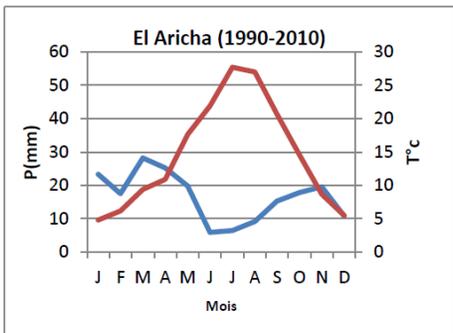
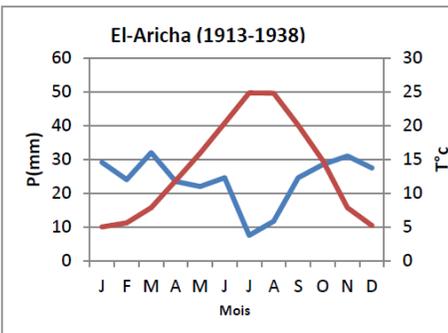
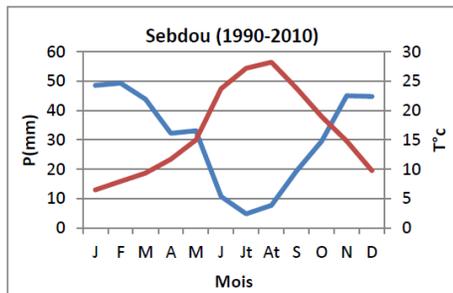
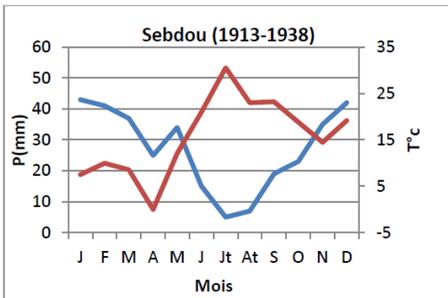
Tableau N°3: Indice d'aridité de De Martonne [9]

Stations	Précipitations (mm)		Températures (°C)		Indice de De Martonne	
	Ancienne période	Nouvelle période	Ancienne période	Nouvelle période	Ancienne période	Nouvelle période
Sebdu	326	369.26	16.71	16.41	12.20	13.98
El-Aricha	296.8	198	13.67	14.57	12.53	8.05
Ouled Mimoun	528	332	16	16.5	20.30	12.52

3.1.4. Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen [10]

- La saison sèche est présente dans les trois stations. Celles-ci durent six mois et même plus dans l'année et montrent une accentuation aussi de la sécheresse en particulier durant la nouvelle période (1990-2010). La sécheresse de la nouvelle période s'étale de la mi-mai jusqu'à la fin octobre pour la station de Sebdu, soit 07 mois dans l'année, elle est d'autre part plus longue dans les deux autres stations car elle débute de la mi-avril et s'étale jusqu'à la mi-novembre pour El-Aricha et Ouled Mimoun, soit 08 mois dans l'année.

- On peut dire que cette sécheresse se traduit sur le terrain sans surprise par des modifications relativement importantes de la composition floristique ; modifiant ainsi le paysage en imposant une végétation xérophile Bensenane et al., [27].



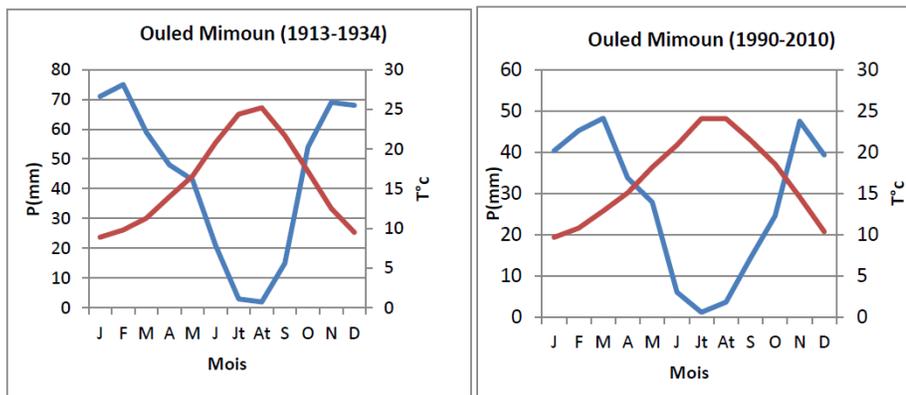


Figure N°1: Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et de Gausсен des trois stations

3.1. 5. Climagramme d’Emberger (Figure N°1)

Le-Houérou et al. [26] [18] cité dans leurs travaux par [5] et [7] considèrent que les steppes algériennes sont encadrées par les isothermes « m » - 2 et 6 °C, et que l’amplitude thermique M-m varie peu et reste sensiblement égale à 34,6 °C. Ces températures expliquent l’absence de certaines espèces dont la vie est liée aux hivers tempérés.

Tableau N° 3 : Etages bioclimatiques des stations des deux périodes

Stations	M °C	m °C	Q ₂	Etages bioclimatiques
El-Aricha (Ancienne Période) (1913-1938)	35.33	-1.65	27.58	Aride supérieur à hiver froid
	(Nouvelle Période) (1990-21-010)	32.56	-0.15	20.76	Aride moyen à hiver froid
Sebdou (Ancienne Période) (1913-1938)	33.88	1.3	34.43	Semi aride inférieur à hiver frais
	(Nouvelle Période) (1990-21-010)	32.35	3.2	43.56	Semi aride moyen à hiver tempéré
Ouled Mimoun (Ancienne Période) (1913-1938)	32.8	5.2	65.52	Semi aride supérieur à hiver tempéré
	(Nouvelle Période) (1990-21-010)	32.2	3.5	39.84	Semi aride inférieur à hiver tempéré

Les deux stations de Sebdou et d’El-Aricha se déplacent vers la droite (c’est-à-dire vers des variantes hivernales sèches), la première station subie un décrochement du semi aride inférieur à hiver frais vers le semi aride moyen à hiver tempéré. La deuxième station (El-Aricha) glisse de l’aride supérieur à hiver froid vers l’aride moyen à hiver froid.

La troisième station d’Ouled Mimoun quand à elle accuse un déplacement vers la gauche et décroche du semi aride supérieur à hiver tempéré vers le semi aride inférieur et garde la même variante hivernale.

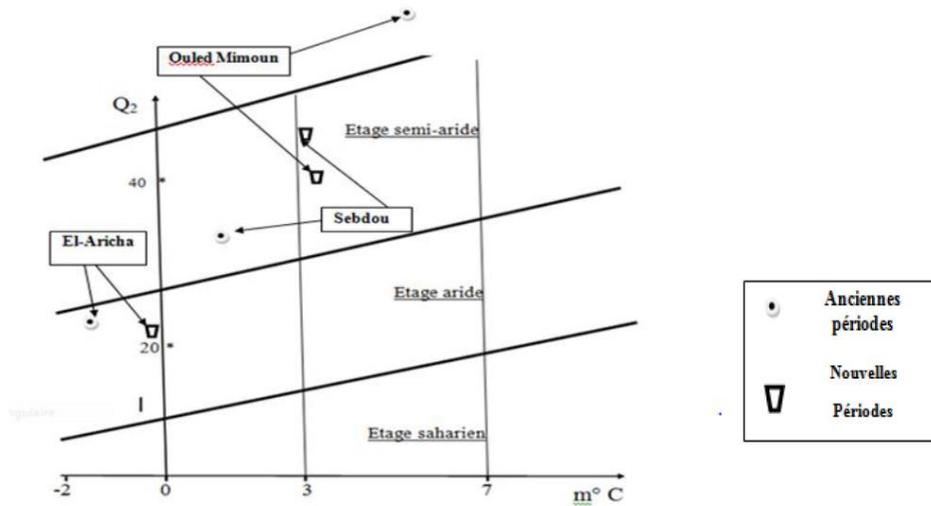


Figure N°2: Localisation des stations météorologiques sur le climagramme pluviothermique d'Emberger

3.2. Composition floristique et perturbation

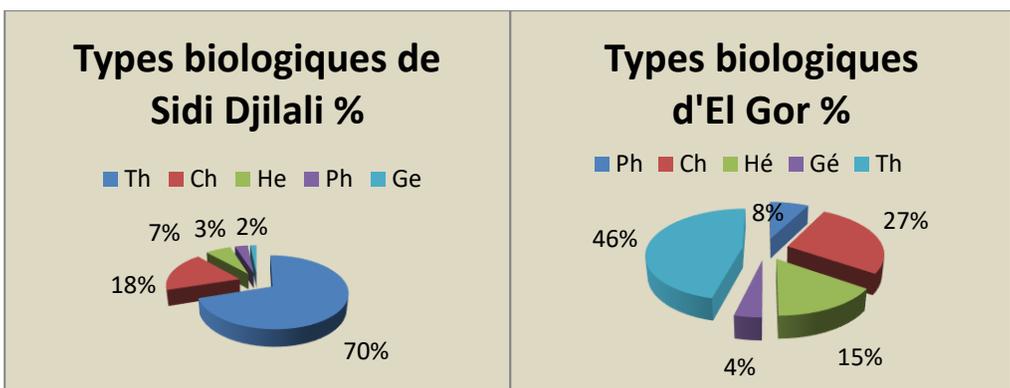
3.2. 1. Caractérisation botanique (selon Raunkier [17])

Tableau N°4: Nombres d'espèces et types biologiques de Sidi Djilali

Types biologiques	Nombre	Recouvrement
Phanérophytes (Ph)	2	3.33%
Chaméphytes (Ch)	11	18.33%
Hémicryptophytes (He)	4	6.67%
Géophytes (Ge)	1	1.66%
Thérophytes (Th)	42	70%
Total	60	100%

Tableau N°5: Nombres d'espèces et types biologiques d'El-Gor

Types biologiques	Nombre	Recouvrement
Phanérophytes (Ph)	2	7.41%
Chaméphytes (Ch)	8	29.63%
Hémicryptophytes (He)	4	14.82%
Géophytes (Ge)	1	3.70%
Thérophytes (Th)	21	44.44%
Total	27	100%



Figures N°3: Pourcentage des types biologiques des deux stations

L'analyse de la figure N°3 indique une prédominance des thérophytes au détriment des autres formes biologiques, au niveau de la station de Sidi Djilali le taux est de 70% et celui d'El-Gor est de 46%, selon Dahmani [19]; la variation du taux des thérophytes est liée au degré d'ouverture de la végétation et à compétition interspécifique. Cette prédominance des thérophytes en raison du surpâturage fréquent fait preuve de résistance aux périodes sèches à fortes températures Quezel [20].

La répartition des formes biologiques des deux stations suit le schéma suivant :

Th → Ch → Hé → Ph → Gé

Plusieurs auteurs ont traité les relations entre la distribution des types biologiques et les facteurs de l'environnement et d'autres facteurs, on peut citer Raunkaer [17], Floret *et al.* [21], etc....

En ce qui concerne notre zone d'étude les types biologiques accusent une prédominance des thérophytes suivis par les chamaephytes, les hémicryptophytes, aux dépens des phanérophytes et des géophytes, et cela pour les deux stations.

Les thérophytes occupent la première place, on cite : *Plantago lagopus*, *Echium vulgare*, *Medicago rugosa*, *Bromus rubens*... Plusieurs auteurs s'accordent à dire que cette prédominance est une forme de résistance aux rigueurs climatiques (Kadi-Hanifi, [22]. Barbero *et al.*, [23] montrent que la thérophytisation est considérée comme le stade ultime de dégradation des différents écosystèmes avec la dominance des espèces sub-nitratophiles liées aux surpâturages. Aidoud [24] signale que dans les hauts plateaux algériens, l'augmentation des thérophytes est en relation avec un gradient croissant d'aridité. Benabadj *et al.*, [25] et Ghezlaoui et Benabadj [4] affirment que les rigueurs climatiques et l'instabilité structurale du sol (substrat sablonneux, 50%) peuvent favoriser le développement des espèces à cycle de vie court.

L'appauvrissement du tapis végétal se traduit par la disparition progressive des phanérophytes et l'extension des chamaephytes. Ces derniers occupent la deuxième place avec une représentation assez importante qui s'explique par une bonne acclimatation de ces espèces aux conditions climatiques. Selon Le-Houerou [26] le surpâturage entraîne le développement des chamaephytes. Nous avons *Daphne gnidium*, *Ulex bovis*, *Cistus villosus* *Rosmarinus officinalis*, etc..... Leur proportion augmente dès qu'il y a dégradation des milieux préforestiers, car ce type biologique s'adapte mieux à la sécheresse estivale et à la lumière que les phanérophytes Anderson, cité par Bensenane *et al.* [27].

Selon Barbero *et al.* [23], les hémicryptophytes sont abondants dans les pays du Maghreb à cause de la présence de matière organique et de l'humidité, nous trouvons *Atractylis humilis*, *Paronychia argentea*, etc.....

3.2. 2. Types morphologiques (Tableaux 6 et 7)

Tableau N°06: Nombre d'espèces et types morphologiques d'El-Gor

Types morphologiques	Nombre	Recouvrement
Herbacées annuelles (HA)	22	81.48%
Herbacées vivaces (HV)	3	11.11%
Ligneuse (L)	2	4.76%
Total	27	100%

Tableau N°07: Nombres d'espèces et types morphologiques Sidi Djilali

Types morphologiques	Nombre	Recouvrement
Herbacées annuelles (HA)	42	70%
Herbacées vivaces (HV)	15	25%
Ligneuses (L)	3	5%
Total	60	100%

D'après les tableaux et les figures ci-dessus on remarque une forte dominance des herbacées annuelles au détriment des autres types morphologiques (herbacées vivaces ne dépassent pas les 25% et les ligneuses ne dépassent pas elles le taux de 10% et cela pour les deux communes), cette analyse appuie fortement l'hypothèse du surpâturage et de la désertification.

3.2.2. Caractéristiques phytogéographiques (Tableaux 9)

Cités par Bensenane *et al.* [27] les travaux Axelrod (1973), Axelrod et Raven (1978) et Quézel (1978,1985 et 1995) traitent ce domaine de la diversité biogéographique de l'Afrique qui trouve son explication par les modifications climatiques durement subies dans cette région depuis le Miocène, ce qui entraîne la migration d'une flore tropicale vers le Nord Quézel (1983) in [27].

Tableau N°9: Répartition biogéographique de la station d'El-Gor

Taxons	Familles	Types biogéographiques
<i>Alyssum campestre</i> L.	Brassicacées	Med
<i>Asparagus acutifolius</i> L.	Liliacées	Macar Med Ethiopie, Inde
<i>Asphodelus microcarpus</i> Viv.	Liliacées	Sah
<i>Bromus rubens</i> L.	Poacées	Circum bor
<i>Chrysanthemum grandiflorum</i> (L.) Batt.	Astéracées	End
<i>Cistus albidus</i> L.	Cistacées	W. Méd
<i>Chamaerops humilis</i> L.	Palmacées	W. Méd
<i>Daphne gnidium</i> L.	Thymelacées	Eur
<i>Echinops spinosus</i> L.)	Astéracées	Méd
<i>Echium pycnanthum</i> Pomel.	Boraginacées	Méd. Sah
<i>Ferula communis</i> L.	Apiacées	Méd
<i>Genista tricuspidata</i> (L) Desf	Fabacées	End. N.A
<i>Globularia alypum</i> L.	Globulariacées	Méd
<i>Hedypnois cretica</i> (L) Willd.	Astéracées	Méd
<i>Hordeum murinum</i> L.	Poacées	Circumbor
<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	Cupressacées	Circum-Méd
<i>Marrubium vulgare</i> L.	Lamiacées	Méd
<i>Medicago minima</i> (L) Bartal.	Fabacées	Eur-Méd
<i>Microtus bombycinus</i> Lag.	Astéracées	Eura.N.A.trip
<i>Paronychia argentea</i> Pourr.Lamk.	Caryophyllacées	MS
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	Pinacées	Méd
<i>Plantago albicans</i> L.	Plantaginacées	Méd
<i>Reseda alba</i> L.	Résédacées	Méd
<i>Salvia verbenaca</i> (L.) Briq.	Lamiacées	Méd-Atl
<i>Schismus barbatus</i> (Loefl. ex L.) Thell.	Poacées	MS
<i>Sinapis arvensis</i> L.	Brassicacées	Paléo-Temp
<i>Ulex boivinii</i> Webb.	Fabacées	End-N.A

Pour la station de Sidi Djilali il y a une prédominance des espèces de type méditerranéen avec 40.98% suivit par les espèces Méditerranéens, Irano-Touranien, ouest méditerranéens et le Paléotempéré avec un pourcentage de 6.55%. Pour la station d'El-Gor, la prédominance est aussi observée chez les espèces de type méditerranéen avec 33.33% Circumboréal, Ouest méditerranéen, Endémique Nord-Africain avec 7.40%.

4. CONCLUSION

L'exploitation des ressources biologiques et édaphiques des steppes et de milieux pré steppiques a conduit à de profondes modifications du milieu nécessitant des réaménagements (Bensenane *et al.*, 2013), ces exploitations selon Benabadj et Bouazza [5] sont utilisées comme moyen de combustion et pour l'installation de la céréaliculture, cette dernière a abouti sans surprise à l'appauvrissement du couvert végétal comme le montre les figures 3 et 4 avec 70% de Thérophytes et seulement 3% de Phanérophytes à Sidi Djilali, puis 46% de Thérophytes et 8% Phanérophytes à El-Gor. Cette flore avec 75 taxons entre les deux stations, 60 taxons dans la zone de Sidi Djilali et 24 taxons dans la zone d'El-Gor, demeure ou reste pauvre par rapport à 3150 espèces en Algérie du Nord dénombré par Quezel [20]. Le bioclimat à cause de la sécheresse accentuée comme le montre en effet les diagrammes ombrothermiques et les autres indices bioclimatiques (indice xérothermique d'Emberger, indice de De Martonne) des stations d'études constitue un facteur majeur de la répartition végétale du moins durant ces dernières décennies, par ailleurs le principal facteur de la diminution de la diversité de ces formations préforestières et steppiques semble être dû aussi à l'action anthropique. Que va-t-il se produire durant les prochaines décennies ? Allons-nous assister à des actions humaines qui vont s'atténuer ou carrément s'exprimer avec beaucoup plus d'intensité ?

References

- [1] L., Emberger– Sur une formule climatique applicable en géographie botanique. C. R. Académique. (1930) Sciences, 191: 389-390.
- [2] C. Sauvage - Etages bioclimatiques. Atlas du Maroc. Notices, applications. Physio. Météo (1963), 6 : 31
- [3] A. Merzouk., - Contribution à l'étude phytocécologique et biomorphologique des peuplements végétaux halophyles de la région de l'Oranie (Algérie). Thèse Doctorat. Ecologie Végétale Université Tlemcen. (2010) 261p.
- [4] B. Ghezlaoui Eddine et N. Benabadj, - La végétation des monts de Tlemcen (Algérie). Aspects phyto-écologique. Journal Botanica Complutensis ISSN-e (2018) 1988-2874
- [5] N. Benabadj et M. Bouazza, - Quelques modifications climatiques intervenues dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie occidentale). Revue Energie. Renouvelable Vol. 3 (2000): 117-125
- [6] S. Hadjadj Aouel, - Analyse phytocécologique du Thuya de Berberie en Oranie. Thèse Magistère Université d'Oran. 1988 : 150p.
- [7] M. Bouazza, Etude phytocécologique de la steppe à *Stipa tenacissima* L. au Sud de Sebdou (Oranie-Algérie). Thèse doctorat Université. Marseille III 1991 : 193p.
- [8] J. Debrach, - Notes sur les climats du Maroc occidental, Maroc méridional : 32-34 ; (1953) 1122-1134.
- [9] Ph. Daget, - Un élément actuel de la caractérisation du monde méditerranéen : Le climat. Com. 1er Coll. Emberger. Montpellier. Nat Monsp., (1980) HS: 101-126.
- [10] F. Bagnouls et H. Gaussen, - Saison sèche et indice xérothermique. Bulletin Société. Histoire Naturelle Toulouse (88)(1953): 3-4 et 193-239
- [11] L. Emberger, - Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique. Bulletin Société. Histoire Naturelle Toulouse, (1942) 77 : 97-124.
- [12] L. Emberger - Travaux de botanique et d'écologie. Edition Masson et Compagnie Paris. 1971, 520p.
- [13] L. Emberger, - Une classification biogéographique des climats. Travaux Laboratoire Botanique Géologie Service Botanique Montpellier, 7. 1955: 3-43.
- [14] S. Djebaili, - Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. Office Publication Universitaire. Alger. 1984. 171p.
- [15] M. Gounot, - Méthodes d'étude quantitative de la végétation, Edition Masson et Compagnie Paris, 1969. 314p.++
- [16] P. Quézel et S. Santa, - Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. 2 zones. Edition C.N.R.S. Paris. 1962. 1170p.
- [17] C. Raunkier Types biologiques pour la géographie botanique. KGL., Danske Videns Kabense Kabs Farrhandl. 5 1905 : 347-437.
- [18] H. N. Le Houerou, Classification éoclimatique des zones arides de l'Afrique du Nord. Revue Ecologie Méditerranéenne. 15 (3/4) (1990) : 96- 131.
- [19] M. Dahmani, - Contribution à l'étude des groupements à Chêne vert (*Quercus rotundifolia* L.) des monts de Tlemcen (Ouest Algérien) : Approche phytosociologique et phytocécologique. Thèse. Doctorat 3ème cycle. Université Aix Marseille III. (1984) 238p.
- [20] P. Quézel, - Réflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press. Paris, 2000. 117p.
- [21] C. Floret M. J. Galan E. Lefloch Orchan G. and F. Romane - "Growth forms and phenomorphology traits along and environnement gradient: tools for studding vegetation". Journal of vegetation sciences 1 1990: 71-80.
- [22] H. Kadi-Hanifi, "Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L.. de l'Algérie". Revue. Sécheresse 14 (3) : (2003) 169-179.
- [23] M. Barbero, R. Loisel, F. Médail et P. Quézel., - "Signification biogéographique et biodiversité des forêts du bassin méditerranéen". Boccone, (2001) N° 13 : 11-25.
- [24] A., Aidoud- Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud Oranais: Phytomasse, productivité primaire et application pastorale. Thèse. Doct. U.S.T.H.B. Alger, 1983. 250 p.
- [25] N. Benabadj D. Benmansour et M. Bouazza, - La flore des monts d'Ain Fezza dans l'Ouest algérien, biodiversité et dynamique. Sciences et Technique Constantine. N°26, (2007) décembre : 47-59.
- [26] H. N. Le-Houérou., J. Claudin, M. Pouget, - Étude bioclimatique des steppes algériennes avec une carte bioclimatique au 1/1 000 000. Bull. Société Histoire Afrique du Nord (1977): 36-40.
- [27] I. Bensenane, N. Benabadj B. Ghezlaoui et R. Berkouki., "Un écosystème steppique anthropisé (cas de la région d'El-Gor, Algérie, occidentale) " Revue Méditerranéenne Serie De Estudios Biológicos (2013) N° 24 : 221-277.

Caractérisation et modélisation par GEV de la variabilité climatique sur les ressources en eau dans la région de Kaolack au Sénégal

Ibrahima Touré¹, Mamadou Sarr², Issa Leye¹, Soussou Sambou¹, Moussé Landing Sané¹

¹Laboratoire d'Hydraulique et de Mécanique des fluides (LHMF) de la Faculté des Sciences et Techniques (F.S.T) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Sénégal

²Laboratoire des sciences de l'atmosphère et des océans, matériaux-énergies-dispositifs (LSAO-MED), Université Gaston Berger de Saint-louis, Sénégal

Résumé

La région de Kaolack, à l'image de plusieurs régions du Sénégal fait face à des périodes de fortes chaleurs et une raréfaction des précipitations, qui ne sont pas sans conséquence sur le développement économique tributaire de l'agriculture. Située au centre ouest du pays, elle est touchée par les effets néfastes du changement climatique. L'objectif de cet article est de mettre en évidence les extrêmes climatiques à partir de données pluviométriques et de températures journalières de 1980 à 2015 par la méthode des indices climatiques du programme RCLimdex. Il est aussi question d'évaluer la sévérité de la sécheresse sur les ressources en eau à partir de données pluviométriques annuelles pour la période de 1960 à 2013. Pour ce faire, la méthode utilisée repose sur le calcul de l'Indice Standardisée de Précipitation (SPI) à différents pas de temps. En outre, une modélisation à 3 dimensions est adoptée pour voir l'évolution de la température en fonction de la répartition spatiotemporelle des précipitations journalières. Les résultats ont indiqué une succession de périodes humides et de périodes sèches et une hausse de la majeure partie des indices extrêmes climatiques. De plus, il importe de noter que les périodes de fortes chaleurs ont une influence sur la variabilité spatiotemporelle des précipitations. Enfin le modèle GEV est aussi appliqué pour prédire les périodes de retour des précipitations extrêmes.

Mots clés : Précipitations, température, Indices climatiques, GEV, Kaolack, Sénégal

Characterization and GEV modeling of climate variability on water resources in the Kaolack region of Senegal

Abstract

The region of Kaolack, like many other regions of Senegal, is facing heat waves and reduced rainfall. This situation is not without consequence on agriculture, the main economic activity of the region. Located in the center west of the country, it is affected by the harmful effects of climate change. The objective of this article is to highlight the climatic extremes from rainfall data and daily temperatures from 2001 to 2015 by the method of climatic indices of the RCLimdex program. It is also a question of evaluating the severity of the drought on water resources from annual rainfall data for the period from 1960 to 2013. To do this, the method used is based on the calculation of the Standardized Precipitation Index (SPI) at different time steps. In addition, a 3-dimensional modeling is adopted to see the evolution of temperature according to the distribution of precipitation. The results indicated a succession of wet and dry periods and an increase in most of the extreme climatic indices. In addition, it is important to note that periods of high heat influence the spatiotemporal variability of precipitation. Finally, the GEV model is also applied to predict the return periods of extreme precipitation events.

Key Words: Rainfall, Temperature, Climatic index, GEV, Kaolack, Senegal

¹ Corresponding author: panoya83@yahoo.fr

INTRODUCTION

La problématique du dérèglement climatique a toujours été un centre d'intérêt de la communauté scientifique internationale au cours des dernières décennies. En effet, la température moyenne à la surface de la terre s'est déjà réchauffée de 1.09°C depuis l'époque préindustrielle (1850-1900) [1]. De plus, les vagues de chaleur en Afrique de l'Ouest sont devenues plus intenses et plus longues par rapport aux dernières décennies du 20^{ème} siècle. En réalité, entre 1961 et 2014, la fréquence des journées très chaudes (plus de 35°C) a augmenté de 1 à 9 jours par décennie. À cela s'ajoutent le stress hydrique et les risques liés à l'eau (sécheresse, inondation) qui aggravent davantage les conflits et les déplacements. Selon les estimations de l'Observatoire des situations de déplacement interne (IDMC) dans son rapport de 2020 [2], 649 448 nouveaux déplacements liés aux catastrophes en Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale, sont provoqués principalement par les inondations. Ainsi, l'Afrique subit de manière disproportionnée les conséquences des gaz à effet de serre en dépit de sa faible proportion dans les émissions mondiales (2% à 3%). Ces situations compromettent de plus en plus l'atteinte des Objectifs du Développement Durable (ODD) des Nations Unies [3]. C'est pourquoi de nombreuses études dans le monde ont essayé de comprendre l'évolution et la variabilité du climat [4-7]. D'ailleurs plusieurs travaux ont porté dans des zones différentes pour cerner les extrêmes climatiques. Ainsi [8] indiquent une tendance à la baisse des extrêmes pluviométriques de la majeure partie des stations au Sénégal pour une période de 55 ans et des périodes de retour à la baisse. Selon [9] le modèle GEV ajusté aux précipitations extrêmes de six stations au Sénégal montre que les changements prévus dans les données climatiques ne sont pas uniformes entre les stations et les périodes de retour. Par contre [10] montrent des tendances significatives dans les indices de température, ce qui correspond à la tendance au réchauffement dans cette région de l'Algérie. En plus, la fréquence des journées chaudes a augmenté, tandis que la fréquence des journées froides a diminué. Les indices de précipitations, constitués des précipitations annuelles totales, du nombre de jours de pluie, des précipitations mensuelles maximales sur un jour, des précipitations mensuelles consécutives maximales sur cinq jours ont augmenté alors que les jours de pluie consécutifs ont diminué. De même, [11] affirment que la plupart des indices pluviométriques sont en baisse dans le bassin de Davo en Côte d'Ivoire. Cette diminution s'accompagne d'une hausse des indices de température, ce qui témoigne d'une perturbation au niveau local. Ces résultats sont quasi similaires à ceux de [12] dans la période de 1960 à 2008 au Tchad. Dans cet élan, les résultats de [13] indiquent un ajustement adéquat du modèle G.E.V par la méthode du maximum de vraisemblance aux données de température maximale pour toutes les stations cibles au Sénégal.

Cependant, s'il est avéré que la plupart des travaux ayant porté sur la variabilité climatique concerne des zones d'études plus étendues comme l'Afrique de l'Ouest [14], le Sahel, le Sénégal il n'en demeure pas moins que rares sont ceux qui s'intéressent à la conformité de ses résultats à l'échelle locale. C'est là, toute la pertinence de cet article portant sur la caractérisation de la variabilité climatique sur les ressources en eau dans la région de Kaolack au Sénégal. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau à l'échelle régionale notamment dans la station de Kaolack au Sénégal.

En d'autres termes, il s'agira d'analyser les séquences de sécheresse météorologique par l'indice pluviométrique de précipitation (ISP) dans l'optique de formuler aux populations impactées des mesures d'atténuation et d'adaptation. De surcroît, les indices extrêmes pluviométriques et de température sont mis en contribution pour une meilleure compréhension des enjeux liés au changement climatique. En second lieu une modélisation à 3 dimensions est utilisée pour établir les liens existants entre l'évolution de la température et la spatialisation des précipitations. Enfin une analyse fréquentielle des événements pluviométriques extrêmes est appliquée afin d'estimer leur période de retour dans la station de Kaolack.

Matériel et méthodes :

Zone d'étude

Située au centre-ouest du Sénégal entre les longitudes -16.95 et les latitudes 14.8, Kaolack est l'une des régions administratives du pays. Elle s'étend sur une superficie de 5 357 km² et est bornée par la Gambie. Elle est frontalière avec les régions de Kaffrine et de Fatick (**Figure 1**). En 2013, sa population était estimée à 918355 habitants soit une densité de 67 habitants au Km². Le climat de la zone d'étude est partagé entre celle de la zone sahélienne Sud et la zone soudanienne Nord.

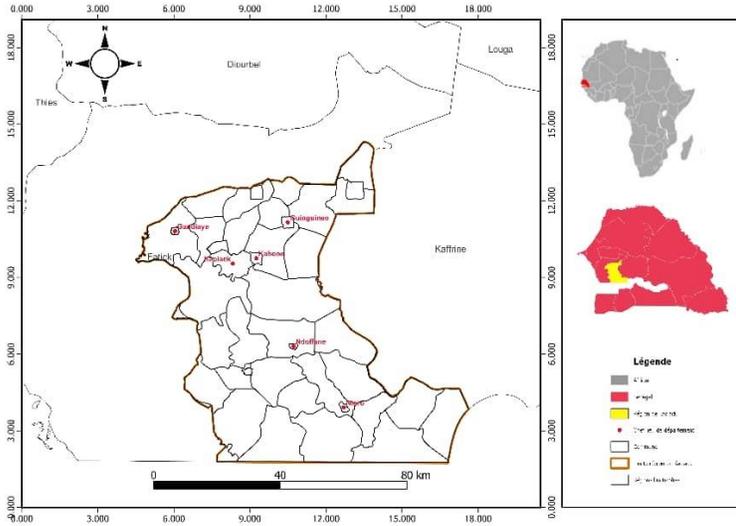


Figure1 : localisation de la zone d'étude

Données climatiques

Dans le cadre de cette étude, les données sont des séries de précipitations et de températures journalières de la station de Kaolack allant de 1980 à 2015. Elles proviennent de la base de données de l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA). De même des données relatives aux précipitations annuelles couvrant la période de 1960 à 2013 et issues de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM) sont utilisées.

Méthodologie :

Indice Standardisé de précipitation (SPI) :

Pour déterminer la sévérité de la sécheresse en différentes classes (Tableau 1), l'indice standardisé de précipitation (SPI) a été mis au point par [15]. Cet indice permet d'estimer le déficit pluviométrique pour des échelles de temps différentes afin de mieux apprécier l'effet de la sécheresse sur la disponibilité des ressources en eau. Il est basé sur des calculs statistiques des précipitations pendant une longue période (30 ans au moins) et indique qu'une sécheresse débute quand sa valeur est inférieure ou égale à -1,0 et qu'une sécheresse se termine quand sa valeur devient positive [16]. Dans la même veine, l'indice SPI permet de déterminer l'écart des précipitations d'une période, le déficit ou le surplus par rapport aux précipitations moyennes historiques de la période. Cette période est variable le plus souvent et va de 3 mois à 2 ans, selon le type de sécheresse que l'on désire suivre. A titre d'exemple, l'indice SPI3 (SPI sur 3 mois compare le volume des précipitations sur la période de trois mois examinés et les totaux des précipitations pour cette même période de trois mois de toutes les années pour lesquelles on dispose de relevés. En plus l'indice SPI sur 3 mois renseigne sur les conditions d'humidité à courte et moyenne termes et une estimation des précipitations sur une saison.

L'indice standardisé de précipitation établi par l'Equation 1 :

$$SPI = (Pi - Pm) / \sigma \quad (1)$$

où Pi est la pluie annuelle (en mm) et Pm la pluie moyenne de la série pour la période de 1960-2013 tandis que σ traduit l'écart-type de la série. Ainsi, le degré de sévérité de la sécheresse pour chaque année est résumé dans le tableau 1.

Tableau 1 : classification des valeurs de SPI

2.0 et plus	Extrêmement humide
De 1.5 à 1.99	Très humide
De 1.0 à 1.49	Modérément humide
De -0.99 à 0.99	Proche de la normale
De -1.0 à -1.49	Modérément sec
De -1.5 à -1.99	Très sec
-2 et moins	Extrêmement sec

Les indices climatiques extrêmes

Les indices climatiques extrêmes utilisés dans ce travail sont définis par l'OMM dans le cadre du "CC/CLIVAR Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI)". La chronique d'étude (2001-2015) permet de mettre en exergue les tendances climatiques récentes obtenues par le truchement du logiciel RClimDex, développé en différentes étapes par [17-18]. L'usage des indices climatiques facilite la description de l'état du changement climatique et établit une analyse et une comparaison des séries temporelles, des extrêmes et tendances. Il existe 16 indices liés à la température et 11 aux précipitations, issus des températures maximales et minimales et aux précipitations.

Dans cet article, nous nous sommes intéressés aux indices d'intensité (TXx et TXn) et aux indices de durée qui sont des périodes de chaleur ou de froid ou d'humidité ou de sécheresse excessive, ou de longueur de la saison de pluies et des périodes de douceur:

Séquences froides (CSDI)

– Séquences chaudes (WSDI)

– Séquences de jours secs consécutifs (CDD)

– Séquences de jours de pluie consécutifs (CWD)

Les identités, les noms et les définitions de ces indices sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Indices des extrêmes des précipitations et des températures journalières

Tableau 2 : Indices des extrêmes des précipitations et des températures journalières	Nom de l'indice	Définition	Unité
Précipitations			
Identification			
CWD	Jours pluvieux consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs avec des précipitations journalières ≥ 1 mm	jours
CDD	Jours secs consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs avec précipitations journalières < 1 mm	jours
Températures			
WSDI	Indicateur des durées des séquences chaudes	Nombre de jours dans l'année avec au moins six jours consécutifs où $T_{max} > 90^e$ percentile	%jours
CSDI	Indicateur des durées des séquences fraîches	Nombre de jours dans l'année avec au moins six jours consécutifs où T_{min} $< 10^e$ percentile	%jours
TXx	Maximum des T_{max}	Température maximale la plus élevée dans l'année	°C
TXn	Minimum des T_{max}	Température maximale la plus basse dans l'année	°C

Les paramètres d'entrée de RClimDex sont:

– la première et la dernière année de la période de base;

– la latitude de la station

– le seuil haut et bas des précipitations journalières P (mm)

– le maximum et le minimum de la température maximale journalière ; et le maximum et le minimum de la température minimale journalière. Enfin, les données de sortie sont stockées sous forme de fichiers Excel et de fichiers JPEG pour les graphiques.

2.3.3 Modélisation à 3D

Le logiciel de statistiques 'R', version 3.1.2 (2014-10-31), téléchargeable gratuitement sur le site <http://www.r-project.org> a permis la visualisation à 3 dimensions de la spatialisation des pluies. En plus, il a été appliqué dans ce travail un package de R (ismev) proposé par Coles, Bawa, Trenner, et Dorazio (2001) dans lequel les fonctions sont écrites en langage S: <https://cran.r-project.org/web/packages/ismev/ismev.pdf>.

2.3.4 Analyse fréquentielle des précipitations maximales journalières

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future [19].

2.3.4.1 But de l'analyse

L'objectif de cette analyse est de caractériser l'évolution des extrêmes pluviométriques en 35 ans afin de définir les probabilités d'occurrence dans la station de Kaolack.

2.3.4.2 Technique de traitement des données

L'analyse fréquentielle demeure l'un des outils pour estimer l'ampleur de l'évènement x_T auquel est associé une période de retour T (quantile de période de retour ou de probabilités au dépassement $f = 1/T$). L'estimation x_T de la valeur du quantile s'obtient en ajustant une loi de probabilité $P(x; \theta)$ à un échantillon de n observations avec $x = \{x_1 \dots x_n\}$ et θ symbolise le vecteur de paramètres associé à la distribution de probabilité de P . Ainsi, pour déterminer la probabilité d'apparition de ces événements extrêmes (précipitations maximales journalières) un échantillonnage des précipitations journalières est nécessaire pour obtenir les valeurs maximales. La série de données est ensuite soumise à un contrôle de qualité et de représentativité. Pour vérifier la validité des résultats de l'analyse fréquentielle, les données utilisées doivent respecter certaines hypothèses de base. En effet, les données doivent être indépendantes, homogènes et stationnaires. Ainsi les valeurs maximales des extrêmes pluviométriques ainsi extraites sont soumises au test d'homogénéité de Pettitt [20], de l'ellipse de Bois, de stationnarité de Kendall [21], d'indépendance par l'analyse des autocorrélogrammes, le test de corrélation des rangs de Kendall [22].

2.3.4.3 Choix du modèle fréquentiel

Les lois statistiques susceptibles d'être utilisées pour l'analyse fréquentielle sont multiples et variées. Dans le cadre de cet article qui s'intéresse aux événements rares comme les extrêmes pluviométriques, le choix est porté sur la théorie des valeurs extrêmes [23]. Ce modèle comporte trois distributions (Gumbel, Fréchet, Weibull) en un seul paramétrage. Si X désigne la variable symbolisant la précipitation maximale journalière alors sa fonction de distribution est estimée selon l'Equation 2 :

$$P(x|\mu, \sigma, \xi) = \exp \left[- \left(1 + \xi \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^{\frac{1}{\xi}} \right] \quad (2)$$

Les paramètres dont dépendent cette loi sont :

- μ : paramètre de position ou de localisation
- σ : paramètre d'échelle ($\sigma > 0$)
- ξ : paramètre de forme

Une extrapolation du comportement de la queue de distribution des données maximales peut être effectuée grâce à la loi des valeurs extrêmes.

1. Résultats et discussion

2.1 Résultats des indices standardisés de précipitation

L'analyse de l'évolution de l'indice pluviométrique standardisé de la station de Kaolack (**Figure 2**) laisse apparaître une alternance de séquences sèches et humides pour toutes les échelles de temps. Toutefois ces séquences sont plus prononcées à moyen terme (12 mois) et à long terme (24 mois). A court terme (3mois et 6mois), l'indice pluviométrique standardisé illustre des fréquences de sécheresse extrêmement sévères très faibles (0.3%) et une prédominance des période modérément humides (6%) et modérément sèches (6%) de manière continue sur la période d'étude (**Fig. 2a et Fig. 2b**). Ceci semble paradoxale au regard des autres échelles de temps. Ainsi, l'échelle à court terme n'est pas appropriée pour quantifier la sécheresse. Par ailleurs, l'étude de cet indice (ISP) à moyen et long terme indique cinq périodes qui s'alternent (**Fig.2c et Fig.2d**). Il peut être noté une période humide de 1960 à 1967 suivie d'une période sèche de 1967 à 1980 puis d'une autre période humide allant de 1980 à 1993.

Enfin, respectivement une période sèche et une période humide sont notées de 1993 à 2007 et de 2007 à 2013. Pour le long terme (24 mois), les années modérément sèches se situent de 1993 à 1999 puis de 2004 à 2006. La sécheresse débute en 1967 pour toutes les échelles de temps et dont l'extrême sévérité apparaît en 1972 avec un pic inférieur à -2. En effet, cette baisse des précipitations a été déjà souligné dans plusieurs travaux notamment ceux de [24] pour des échelles de temps 5ans, 25 ans et 50 ans au Sénégal. Cependant la fin des années 2000 coïncide avec une augmentation du volume des précipitations dans tous les échelles de temps. C'est pourquoi le début de la décennie 2000 est caractérisé par un regain des conditions humides et une variabilité des précipitations [25].

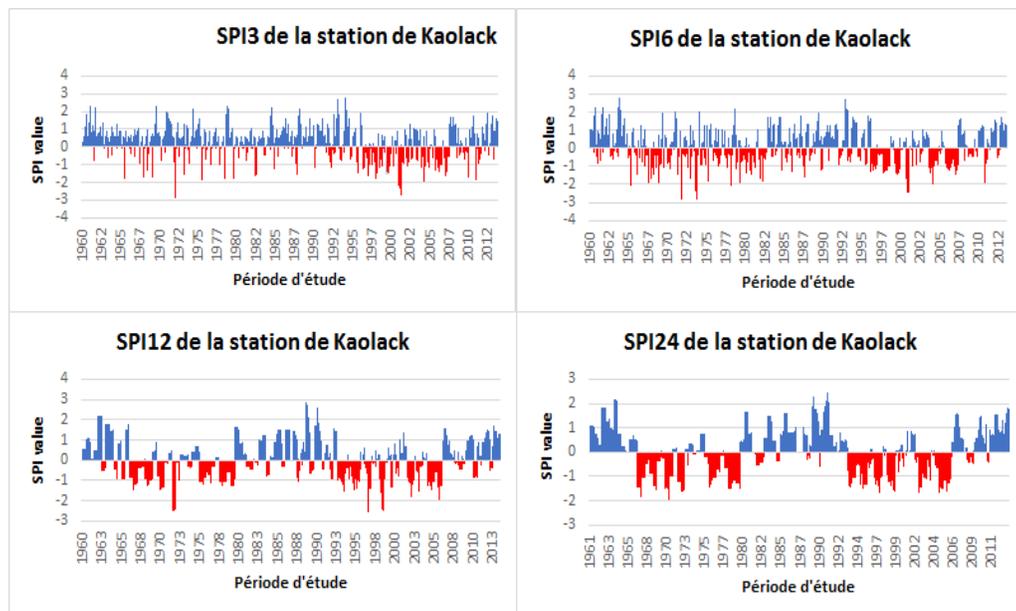


Figure 2 : Indice Standardisé des Précipitations de la station de Kaolack à différentes échelles de temps

1.2 Résultats des indices extrêmes climatiques :

1.2.1 Indices des jours pluvieux consécutifs (CWD) et des jours consécutivement secs (CDD)

La variation des jours secs consécutifs (CDD) et des jours consécutivement pluvieux (CWD) à la station de Kaolack est représentée à la **Figure 3**. Les résultats indiquent une période marquée par une persistance du nombre de jours secs plus accentuée en 1987 et en 1992 (**Fig.3a**). D'ailleurs, la tendance à la hausse du nombre de jours secs consécutifs est accompagnée par des fluctuations records de 290 jours.

Par contre les jours pluvieux consécutifs enregistrent une tendance à la baisse pour la chronique d'étude (1980-2015) (**Fig.3b**). En outre la courbe de lissage relative aux jours pluvieux consécutifs montre deux phases d'évolution. De plus, l'année 1996 représente le plus faible nombre de jours de pluies (CWD= 2 jours) et l'année 1988 affiche la plus grande valeur du nombre de jours pluvieux (CWD = 10 jours) pour la station de Kaolack. La période allant de 1980 à 1992 qui est marquée par une légère hausse du nombre de jours pluvieux consécutifs puis celle de 1992-2015 caractérisée par une baisse importante. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de [26] portant sur la période de 1950 à 2018 dans le bassin du fleuve Sénégal où la sécheresse est traduite par une baisse considérable du nombre de jours pluvieux et d'une diminution des précipitations supérieure à 50mm. Ainsi, cela atteste d'un allongement de la saison sèche et d'un rétrécissement de la saison des pluies dans la station de Kaolack depuis le début des années 1980.

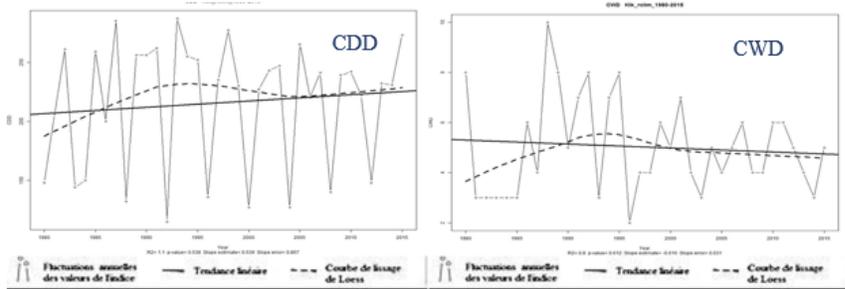


Figure 3 : Evolution annuelle et tendance linéaire des valeurs des indices climatiques (CDD et CWD)

1.2.2 Indice des durées des séquences fraîches (CSDI) et des séquences chaudes (WSDI)

L'évolution des indices des durées des séquences fraîches (CSDI) et des séquences chaudes (WSDI) dans la station de Kaolack sont représentées à la Figure 4. Une baisse du nombre de jours frais (0.118%/an) qui s'est accentuée depuis 1982 (Fig. 4b) est enregistrée. En revanche, le nombre de jours chauds (Fig. 4a) est en augmentation (0.083%/an) et est plus important en 1997. Ces résultats concordent avec ceux obtenus précédemment. Le réchauffement climatique dans la station de Kaolack se traduit globalement par une réduction des séquences fraîches et une augmentation des séquences chaudes qui provoquent une diminution de la pluviométrie. Il en résulte que le climat est plus tempéré que durant les décennies 1970 et 1980 où sévissait les sécheresses extrêmes.

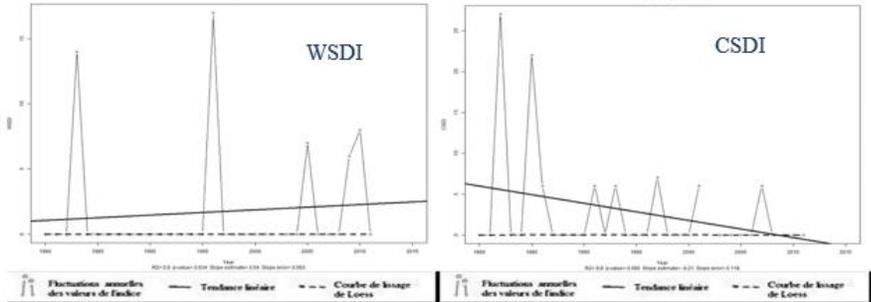


Figure 4 : Evolution annuelle et tendance linéaire des valeurs des indices climatiques (WSDI et CSDI)

1.2.3 Indices de la température maximale la plus élevée dans l'année (TXx) et de la température maximale la plus basse dans l'année (TXn)

La Figure 5 montre l'évolution des indices annuels des extrêmes de températures (TXx et TXn). La période d'étude est marquée par une tendance à la hausse de la température maximale la plus élevée et la plus basse. Cette évolution est conforme à la situation mondiale déjà notée par [27]. Un maximum des températures maximales (TXx) égale à 48°C est enregistré en 1982. Parallèlement, le minimum des températures maximales a pour sa part connu une baisse significative à partir de 1982 puis une hausse importante dès 1985. De surcroît, il convient de remarquer que l'augmentation des extrêmes températures entraine une diminution des séquences fraîches, ce qui confirme la hausse du nombre de jours chauds.

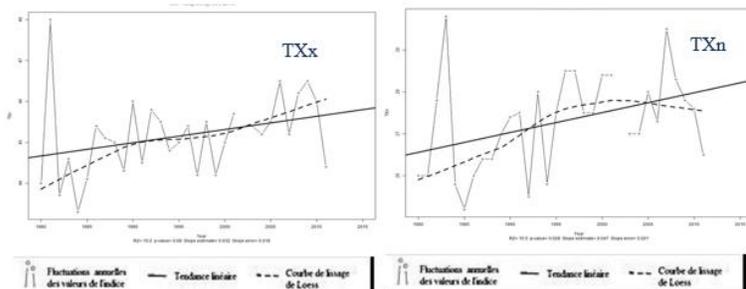


Figure 5 : Evolution annuelle et tendance linéaire des valeurs des indices climatiques (TXx et TXn)

1.2.4 Synthèse de l'évolution des tendances des indices climatiques extrêmes

L'évolution de tous les taux des tendances des indices climatiques extrêmes de la période de 1980 à 2015 est synthétisée graphiquement à la **Figure 6**. Celle-ci atteste que les tendances à la hausse dominent dans l'évolution des indices climatiques extrêmes plus précisément pour les températures. Par ailleurs, les tendances à la baisse ne sont pas assez fréquentes, environ moins de 25% en CSDI et moins de 2% en CWD. Le pourcentage de tendance à la hausse est observé quasiment trois fois plus que celui des tendances à la baisse dans les indices climatiques extrêmes. Le pourcentage de tendance à la hausse concerne CDD, soit 54%.

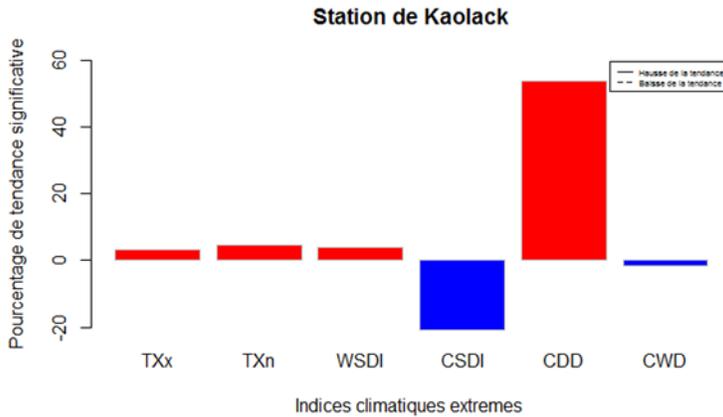


Figure 6 : Représentation récapitulative des tendances dans les indices climatiques extrêmes

2.3) Evolution des précipitations maximales à l'échelle mensuelle de 2001 à 2015

De l'analyse de la répartition spatio-temporelle des précipitations maximales à l'échelle mensuelle (**Figure 7**), il résulte que la saison des pluies s'étend de juin à septembre avec un pic aux mois d'août et septembre. Ce comportement climatique est fréquent dans les régions soudano-sahéliennes. De plus, l'évolution des précipitations entre 2001 et 2008 montre une hausse de volume de 8% au mois d'août suivie d'une baisse de 18% au mois de septembre. Par contre, une inversion de tendance semble se dessiner pour le second septennat (2008-2015). En effet, plus de la moitié des pluies (51%) est mesurée au mois de septembre avec un début de plus en plus tardif de la période hivernale (juillet). Ces résultats vont en droite ligne avec les études de [28]. Selon eux, les données satellitaires indiquent que le début tardif de l'hivernage dans la zone soudano-sahélienne se situe entre le 19 juin et 29 juillet avec une forte variabilité interannuelle.

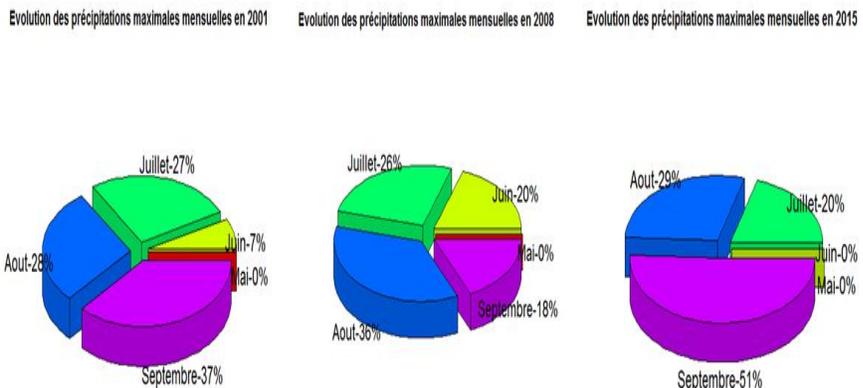


Figure 7 : Répartition des précipitations maximales mensuelles par septennat de 2001 à 2015

2.4) Simulation à 3Dimensions de la variation de la température en fonction de la spatialisation des précipitations journalières de la station de Kaolack

Une modélisation à 3D pour les deux derniers septennats de la chronique d'étude (1980-2015) est utilisée pour analyser l'évolution des températures journalières et leur influence sur la répartition spatiotemporelle des précipitations à l'échelle journalière.

A la lumière des résultats présentés à la **Figure 8**, il ressort que pour des périodes de fortes chaleurs comprises entre 35°C et 40°C, la hauteur des pluies ne dépasse pas 40 mm en 2001. De même, pour des températures élevées situées entre 30°C et 35°C en 2008 puis de 30°C à 38°C en 2015, il apparaît une forte concentration des précipitations du mois de juillet au mois septembre variant respectivement d'une hauteur de 50mm à une hauteur de 60mm. En plus, pour des températures supérieures à 40°C, les précipitations sont localisées le plus souvent entre le 5ème et 6ème mois et ne vont pas au-delà de 10mm. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de [29]. Selon ces derniers, les modifications de température du Sud de l'Océan atlantique et de l'Océan Indien et de la surface des eaux du Nord ou parfois les anomalies de température de surface de l'Océan Pacifique liées au phénomène d'El Nino, seraient à l'origine des changements dans l'activité de la mousson ouest-africaine. En sus, il est intéressant de souligner que les fortes périodes de chaleurs impactent sur la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie. D'ailleurs, les résultats de [30] abondent dans la même logique. Selon eux les paramètres atmosphériques comme la température et l'humidité relative de l'air influencent fortement la distribution spatiotemporelle de la pluviométrie dans le haut bassin du fleuve Sénégal.

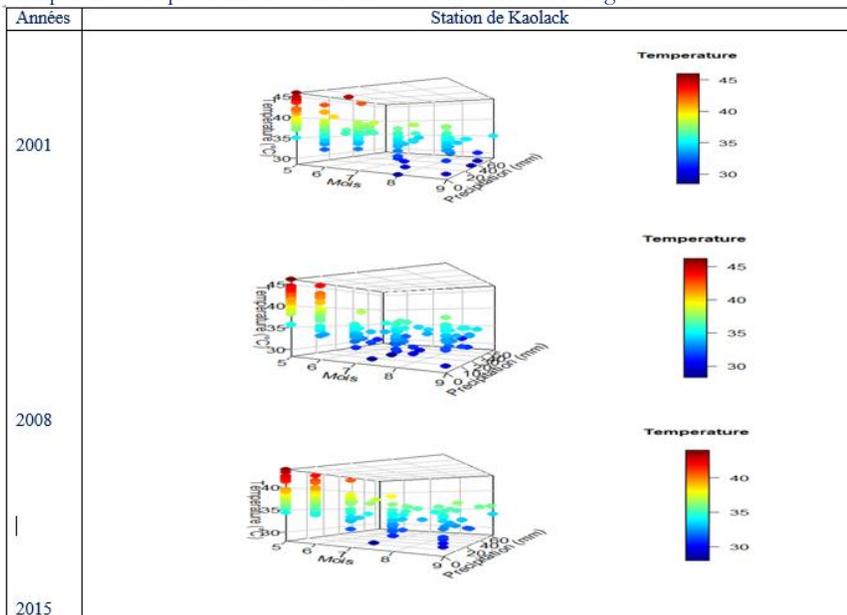


Figure 8 :

visualisation à 3D de la précipitation journalière et de la température de la station de Kaolack

2.5) Analyse fréquentielle des hauteurs de pluies maximales dans la station de Kaolack

L'application de l'analyse fréquentielle supposera la validation des hypothèses de base et l'ajustement par la loi GEV.

2.5.1) Vérification des hypothèses de bases de l'analyse fréquentielle des températures maximales journalières

L'analyse de l'autocorrélogramme au niveau de signification $\alpha = 0.05$ fait ressortir des points figuratifs à l'intérieur de tous les intervalles de confiance, ce qui permet d'illustrer le caractère indépendant de la série (**Fig. 9c**). Dans la même lancée, les résultats du test de corrélation des rangs indiquent que l'hypothèse nulle (H_0 : la série est aléatoire) est acceptée à tous les seuils de confiance. Cependant, les résidus et l'ellipse de Bois montrent que l'hypothèse nulle (H_0 : la série est homogène) est acceptée pour la station de Kaolack (**Fig. 9d**). En effet, tous les points figuratifs se trouvent à l'intérieur de l'ellipse. Ces résultats sont confirmés par la tendance linéaire de

l'évolution interannuelle des précipitations maximales journalières (Fig. 9a). Par ailleurs, le test de Segmentation de la série à l'ordre 1 (Fig. 9b) met en évidence une stationnarité de la moyenne pour la période d'étude, ce qui caractérise davantage l'homogénéité de la série de pluies maximales journalières. De plus, les résultats du test de Mann Kendall confirment une absence de tendance significative (Tableau 3) à Kaolack. En sus, les précipitations maximales journalières à Kaolack sont indépendantes, homogènes et stationnaires, par voie de conséquence elles peuvent faire l'objet d'un ajustement par la loi GEV.

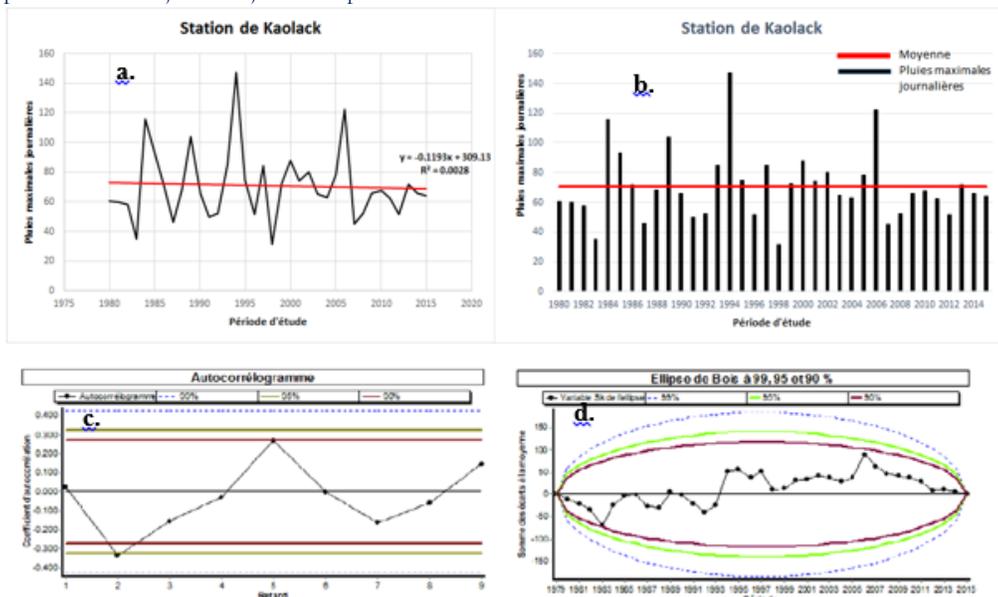


Figure 9 : a. évolution interannuelle des pluies maximales journalières b. Test de Segmentation d'Hubert des pluies maximales journalières
 c. Autocorrélogramme des pluies maximales journalières d. Test de cumul des résidus : ellipse de Bois
 Tableau 3 : résultat du test de Mann Kendall pour l'ajustement des pluies maximales journalières

Pluie maximale journalière (mm)	Test de Mann Kendall	
	leur de la statistique	P-value
Loi GEV	-0.27244	0.7853

2.5.2) Simulation des événements pluviométriques extrêmes et leurs niveaux de retour par la loi GEV

La Figure 10 illustre un bon ajustement graphique de la série pluviométrique maximale journalière par la loi de distribution GEV sur la période d'étude 1980-2015 dans la station de Kaolack. Cela se matérialise respectivement par l'estimation du modèle empirique (Fig. 10a) et la bonne approximation des quantiles (Fig. 10b). De toute évidence, la loi de distribution GEV de type Frechet ($\xi > 0$) s'avère appropriée pour modéliser les événements pluviométriques extrêmes. Dans cette logique, il importe de remarquer que la représentation graphique de l'histogramme des précipitations (Fig. 10d) corrobore ce bon ajustement avec des événements extrêmes variés. Il y est noté six événements extrêmes dans la queue de distribution dont deux à gauche et quatre à droite. En outre, l'ajustement des pluies maximales journalières par la loi GEV et par la méthode de maximum de vraisemblance indique que ces données de précipitations suivent de près ce modèle avec une probabilité de non dépassement de 95% (Fig. 10c). Ainsi, la simulation des périodes de retour est plus concrète entre 1 et 10 ans dans les données observées. Néanmoins des niveaux de retour d'une rareté extrême sont enregistrés entre 10 et 80 ans (Tableau 4). Ces résultats sont en accords avec les travaux de [31]. Ceux-ci confirment des événements pluvieux très normal (123mm) et exceptionnels (152mm) avec respectivement des périodes de retour (10ans) et (30ans) dans la zone de Kaolack. Le léger contraste qui subsiste avec les valeurs trouvées dans ce travail pourrait provenir de la différence des périodes d'étude.

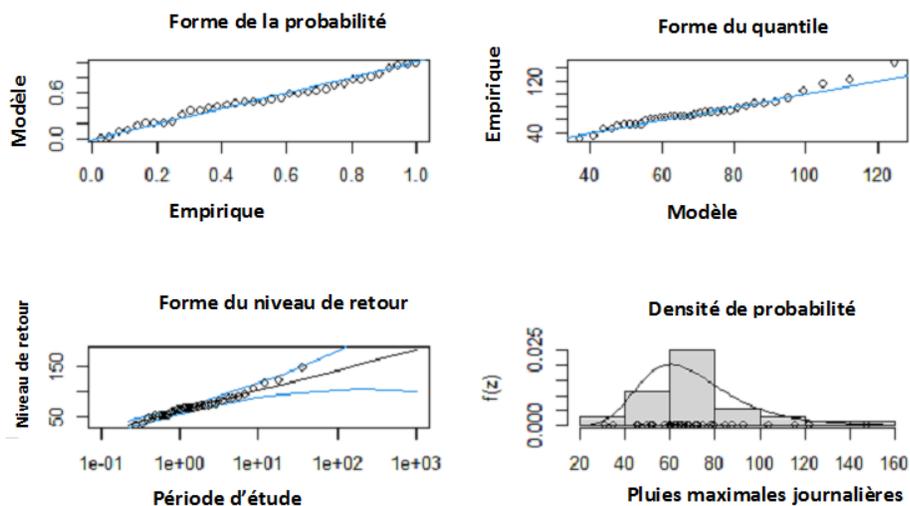


Figure 10 : (a) Ajustement de la loi GEV par voie empirique et (b) simulation des quantiles. (c) les niveaux de retour et (d) la densité de probabilité sont aussi ajustés.

Tableau 4 : Estimations des périodes de retour des pluies maximales journalières et leur intervalle de confiance

Période de retour	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans
Kaolack	87.5 [77 –97.9]	[86.6 –115.1]	[93.9 –133.4]	[97.2 –144.7]	1 [100.4 –159.8]

Conclusion :

Cette étude a permis d'analyser l'impact de la variabilité climatique par le biais des indices de température et de précipitation sur les ressources en eau dans la région de Kaolack au Sénégal. Les résultats de l'étude montrent dans un premier temps une alternance de périodes modérément sèches et humides. En réalité, le réchauffement dans la station de Kaolack se traduit par une augmentation de la température maximale la plus élevée et la plus basse dans l'année. Cette hausse est aussi tributaire à celles des séquences de jours secs consécutifs et des séquences de jours chauds. D'ailleurs ces augmentations sont concomitantes à la baisse de la fréquence des séquences fraîches et au nombre consécutifs de jours pluvieux. En définitive la baisse des pluies et l'augmentation des températures ont engendré une diminution des ressources en eau à Kaolack. En second lieu, l'application d'une modélisation à 3 dimensions a permis d'établir une corrélation entre les périodes de fortes chaleurs et la répartition spatio-temporelle des précipitations journalières durant la période hivernale. Enfin les périodes de retour des événements pluvieux extrêmes obtenues par la loi généralisée des valeurs extrêmes (G.E.V) sont plus prononcées entre 1 et 10 ans. Par ailleurs, les événements extrêmement rares se situent entre 10 et 80 ans.

Références :

- [1] GIEC (2021). Résumé pour les décideurs, Encadré 1. La période préindustrielle par rapport à laquelle les changements de température sont mesurés est délimitée de 1850 à 1900.
- [2] Rapport Mondial sur le déplacement interne (IDMC), publié en avril 2020, 136p <https://www.internal-displacement.org/global-report/grid2020/french.html> (consultation le 12 septembre 2022)
- [3] Rapport « État du climat en Afrique 2021 », Organisation Météorologique Mondiale (OMM), publié le 8 septembre 2021 à Maputo (consultation le 12 septembre 2022)

- [4] I. TOURE, D. M. NDIONE, I. LEYE, M. H. A. SAMBOU et M. L. SANE, Analyse des tendances dans les séries pluviométriques au Sénégal, revue *Afrique Science* 21(1) (2022) 122 – 135p.
- [5] D.M. NDIONE, S. SAMBOU, M.L. Sane, S. Kane, I. LEYE, S. TAMBA, M.T. CISSE, Statistical analysis for assessing randomness, shift and trend in rainfall time series under climate variability and change: case of Senegal. *Journal of Geoscience and Environmental Protection*, 5 (2017) 31- 53p. <https://doi.org/10.4236/gep.2017.513003>.
- [6] A. KOUASSI, R.-K. NASSA, K. KOUAKOU, K. KOUAME, & J. BIEMI, Analyse des impacts des changements climatiques sur les normes hydrologiques en Afrique de l'Ouest : cas du district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). *Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science*, 32(3) (2019) 207–220p. <https://doi.org/10.7202/1067305ar>
- [7] P. N. KABORE, A. OUEDRAOGO, M. SANON, P. YAKA et L. SOME, Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du centre-nord du burkina faso entre 1961 et 2015. *Climatologie*, vol. 14, (2017) 82-95p.
- [8] M. SARR, M. A. MOUSSA, E. H. DEME et B. DIOP, Trend and Return Level Analysis of Extreme Rainfalls in Senegal, *Journal of Water Resource and Protection*, 14 (2022) 221-237p.
- [9] M. A. Sarr, O. Seidou, Y. Trambly and S. E. Adlouni, Comparison of downscaling methods for mean and extreme precipitation in Senegal, *Journal of Hydrology-Regional Studies*, 4 (2015) 369–85p.
- [10] F. HALLLOUZ, M. MEDDI, G. MAHE, H. KARAHACANE et S. E. A. RAHMANI, Tendance des précipitations et évolution des écoulements dans un cadre de changement climatique : bassin versant de l'Oued Mina en Algérie, *Revue des sciences de l'Eau / Journal of Water Science*, 32(2) (2019) 83–114p.
- [11] K.N.D ATCHEREMI, J. P. R. JOURDA, M. B. SALEY, K. J. KOUAME, T. R. BALLIET, Etude de l'évolution des extrêmes pluviométriques et de température dans le bassin versant de Rivière DAVO (Sud-Ouest de la Cote d'Ivoire) à partir de certains indices du logiciel RCLimdex, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°36, Dec 2018, 99-117p.
- [12] A. BEDDOUM, C. B. BIONA, B. J. PIERRE, I. ADOUM, R. MBIAKE & L. BAOHOUTOU, Évolution des indices des extrêmes climatiques en République du Tchad de 1960 à 2008, *Atmosphere-Ocean*, 55(1) (2017) 42-56p.
- [13] K.I. N'DRI and S. NADARAJAH, Statistical modeling of monthly maximum temperature in Senegal, *Environmental Research Communication*, 4 (2022) 075002. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac7bda>
- [14] F. MUTHONI, Spatial-Temporal Trends of Rainfall, Maximum and Minimum Temperatures Over West Africa, *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, vol. 13, (2020) 14p.
- [15] McKee TB, Doesken NJ, Kliest J, (1993), The relationship of drought frequency and duration to time scales, Colorado Climate Center Department of Atmospheric Science Colorado State University Fort Collins, pp 43-50, Colorado.
- [16] WMO, Guide d'utilisation de l'indice normalisé de précipitations, Organisation météorologique mondiale (OMM), (2012) 15-25 p.
- [17] P. FRICH, L. V. ALEXANDER, P. D. MARTA, B. GLEASON, M. HAYLOCK, A. M. G. TANK, & T. PETERSON. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19(3), (2002) 193–212.
- [18] X. Zhang et F. Yang, RCLimdex 1.0, User Manual, Climate Research Branch Environment, Downsview, Ontario, Canada, (2004) 23 p.
- [19] B. P. CHABI, Fluctuations Pluviométriques et Analyse Fréquentielle des Hauteurs de Pluie Maximales en Milieu Subéquatorial au Bénin, *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, Vol. 20 No. 2 (May 2020) 310-326 p.
- [20] M. L. SANE, S. SAMBOU, S. DIATTA, I. LEYE, D. M. NDIONE, S. SAUVAGE, J.M. SANCHEZ-PEREZ et S. KANE, Trends and shifts in time series of climate data generated by GCM from 2006 to 2090, *International Journal of Scientific & Engineering Research* Volume 10 (5) (2019) 212 ISSN 2229-5518
- [21] M. LANDING SANE, S. SAMBOU, D. MARIA NDIONE, I. LEYE, S. KANE et M. LAMINE BADJI, Analyse et traitement des séries de débits annuels et mensuels sur le fleuve Sénégal en amont du barrage Manantali : cas des stations de Bafing Makana et Dakka Saidou, *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 30 (2017) 102 - 120 p.
- [22] S. SAMBOU & E. N. M. NIMY, Critique statistique des séries des pluies annuelles dans le bassin amont du Fleuve Sénégal, *Climate Variability and Change—Hydrological Impacts* (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, IAHS Publ. 308 (11) (2006) 319-324p.
- [23] P. EMBRECHTS, C. KLÜPPELBERG and T. MIKOSCH, *Modelling Extremal Events for Insurance and Finance* (Berlin: Springer), 1997.
- [24] C. Faye, A. Ndiaye, I. Mbaye, Une évaluation comparative des séquences de sécheresse météorologique par indices, par échelles de temps et par domaine climatiques au Sénégal. *J. Wat. Env. Sci.* Vol. 1, N°1, (2017) 11-28p.
- [25] Z. NOUACEUR, La reprise des pluies et la recrudescence des inondations en Afrique de l'Ouest sahélienne, *J. Open Edition-Géographie physique et environnement*, Vol. 5, (2020), 19p.
- [26] A. BODIAN, H. DACOSTA et A. DEZETTER, Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique, *Physio-Géo- Géographie Physique et Environnement*, vol.5, (2011), 116-133p.
- [27] A. SEBBAR, H. FOUGRACH, M. HSAIN et W. BADRI, Etude des variations climatiques de la région Centre du Maroc. Actes du colloque de l'Association internationale de climatologie, 5-8 septembre 2012, Grenoble, France, Vol. 1, (2012) 709-714p.
- [28] I. CAMARA, M. NOBLET, Q. LEJEUNE, Y. SANÉ, Évaluation de la variabilité climatique et des tendances climatiques futures dans la région de Fatick - Sénégal, Report produced under the project "Projet d'Appui Scientifique aux processus de

Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne", Climate Analytics gGmbH, Berlin, (2019) 1 - 34 p.

[29] C.K. Folland, T.N. Palmer and D.E. Parker, Sahel rainfall and worldwide sea temperature 1901-1985. *Nature*, 320 (1986) 602-607p.

[30] FATY, A. KANE, & A. L. NDIAYE, Influence de la manifestation climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers dans le haut bassin versant du Sénégal, *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 30(2) (2017) 79-87. <https://doi.org/10.7202/1042915ar>

[31] S. SENE et P. OZER, Evolution pluviométrique et relations inondations-événements pluvieux au Sénégal, *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 42 (2002) 27-33p.

Evaluation du stock de carbone de la partie aerienn e arbustive d'une association vegetale de la formation mixte de chene-liege et de pin maritime du nord-ouest de la Tunisie

Sayda Mhanna¹, Ali Khorchani¹, Foued Hasnaoui ², Issam Touhami¹, Abdelmajid Hamrouni¹, Mohamed Tahar Elaieb¹

¹ University of Carthage. The National Research Institute of Rural Engineering, Water and Forestry. INRGREF. Laboratory of Management and Valorization of Forest Resources. Ariana. Tunisia,

² University of Jendouba. Institut Sylvo-Pastoral de Tabarka,

Résumé

L'estimation de la quantité de carbone stockée dans les forêts tunisiennes reste soumise à de larges incertitudes. Dans ce travail, nous tentons sous l'angle phytosociologique d'évaluer la quantité du carbone séquestré, de la partie aérienne arbustive d'une association végétale du maquis d'un matorral de la formation mixte de *Pinus Pinaster* et *Quercus Suber* caractérisant le nord-ouest de la Tunisie. Le prélèvement et le pesage des échantillons concernent tous les arbustes de l'association et de ses sous-unités. Le taux d'humidité et la densité de chaque espèce ont été mesurés sur des échantillons prélevés de la partie bois de chaque individu. La quantité totale moyenne de carbone séquestré est de l'ordre de 14260.28 kgC/ha. En moyenne la densité végétale arbustive était de 7936 pieds /ha. Sur la base de la méthode phytosociologie de Braun-Blanquet, vingt relevés floristiques ont été effectués dans trois parcelles, puis soumises à l'analyse factorielle des correspondances pour leur classification affine. Ils ont abouti à définir une association avec deux sous-associations, une variante et deux faciès, appartenant à la classe des *Quercetea ilicis*, ordre des *Pistacio-Rhamnetalia alaterni*.

Mots clés : carbone stockée, association végétale, chêne liège, pin

Evaluation of the carbon stock of the aboveground shrub part of a plant association in the mixed formation of cork oak and maritime pine in the northwest of Tunisia.

Abstract

Estimating the amount of carbon stored in Tunisian forests is still subject to considerable uncertainty. In this work, we attempt, from a phytosociological angle, to assess the quantity of carbon sequestered in the above-ground shrub part of a maquis plant association in a mixed *Pinus Pinaster* and *Quercus Suber* formation in north-western Tunisia. Samples were taken and weighed from all shrubs in the association and its sub-units. Moisture content and density of each species were measured on specimens taken from the wood part of each individual. The average total quantity of carbon sequestered was around 14260.28 kgC/ha. The average shrub density was 7936 plants/ha.

Key Words: stored carbon, plant association, cork oak, pine

¹ Corresponding author: Saydamhanna88@gmail.com

INTRODUCTION

Les formations ligneuses sont d'une grande importance dans la biophysique des écosystèmes méditerranéens à la fois pour leur importance dans la fonction et la dynamique des écosystèmes, et pour les grandes superficies des terres qu'elles couvrent. La diversité des conditions climatiques et écologiques du nord-ouest de la Tunisie ont fait un véritable carrefour floristique d'une diversité et d'une complexité incontestable. Sachant que les montagnes de Kroumirie sont composées d'un système complexe de paysage, ils constituent un potentiel important sur le plan de la biodiversité d'un écosystème naturel la question étant alors de développer les connaissances sur la syntaxonomie de la végétation de la Kroumirie, Néanmoins, la biomasse ou la phytomasse est une variable structurelle clé dans les recherches sur leur dynamique, En outre la définition et les caractéristiques des écosystèmes arbustifs sont légèrement plus complexes par rapport à la strate arborescente, quant à leur définition, leur physiologie et aussi leur classification écologique (Di Castri et al. 1981).

La densité de la biomasse arbustive varie considérablement en raison des conditions climatiques, édaphiques et topographiques, ainsi qu'avec l'histoire de l'utilisation des terres et des perturbations humaines, Bien que les estimations de la biomasse forestière soient indispensables pour évaluer les flux de carbone, la connaissance de la biomasse ou le réservoir de carbone dans les écosystèmes arbustifs méditerranéens, particulièrement en Tunisie, reste encore insuffisante malgré les travaux remarquables déjà réalisés localement voire ailleurs en méditerranée (B.Stiti et al.2012 ; S.Leonardi 2005 ; H.Saoudi, 1983). Notre travail consiste à évaluer par unité de surface, la phytomasse et le stock de carbone des arbustes faisant partie des espèces d'une association végétale d'un matorral issu par dégradation d'une forêt mixte de chêne liège et de pin maritime en Kroumirie Nord-occidentale.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude et leur Situation géographique et pédologique

La zone d'étude est située sur la côte nord de la Tunisie, à une courte distance de la frontière avec l'Algérie dans la forêt de Melloula appartenant à la région de Tabarka, plus exactement les parcelles n°31 et 34 de la 4^{ème} série faisant partie du triage d'Ain Baccouche.

2.2. Caractéristique Orographique

Deux chaînons principaux, parallèles orientés SSO-NNE, occupent la série, séparés par la vallée de Ain Baccouche (20 m d'altitude), dont le premier culmine à 335m et le second à 386m.

2.3. Climat

Le climat de Tabarka est Méditerranéen, avec des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et ensoleillés. La moyenne annuelle pluviométrique à Tabarka, station de référence est de 1010 mm. Occasionnellement il peut neiger sur les collines avoisinantes. La température moyenne annuelle du mois le plus froid (janvier= 11,1 °C), celle du mois le plus chaud (juillet= 26,6°C).

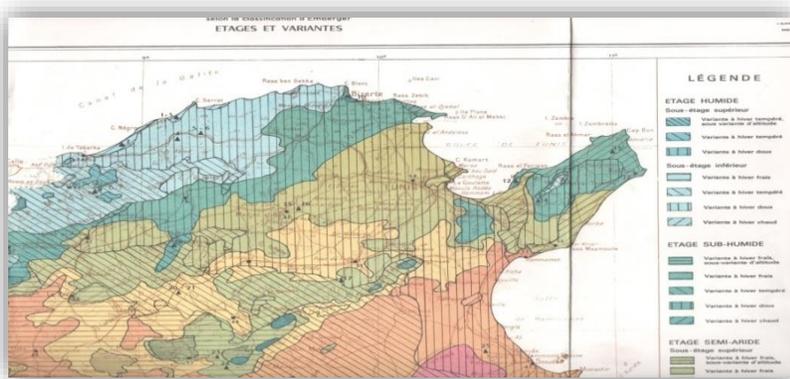


Figure 1 : Carte Bioclimatique De La Tunisie

2.4. Méthodologie

Après une appréciation qualitative visuelle de la végétation arbustive à l'intérieur de la forêt de Melloula, trois stations à maquis (dense, moyennement dense, peu dense). Ont été retenues.

Des relevés phytosociologique et une placette de détermination de la biomasse ont été effectués dans chaque station.

Dans chaque placette, deux transects perpendiculaires de 50 m de long ont été installés et divisés en 50 unités par transect (Navarro Cerrillo & Blanco Oyonarte, 2006 ; Stiti et al. 2012). Pour chaque unité (1 m de long), la distance entre l'origine de l'unité et l'arbuste i a été mesurée (di, m).

La densité végétale (toutes espèces confondues) par unité de surface, D, a été calculée selon la formule suivante :

$$De = SF / (\delta \cdot d)^2$$

Où SF est la surface estimée (10000m²), di la distance moyenne entre les plantes individuelles et points à l'origine, et & un facteur de correction dépendant de la méthode particulière utilisée et égal à 2, Pour le cas de la méthode individuelle la plus proche (Wharton et Griffith, 1993).

La densité de chaque espèce i (Despi) a été calculé en multipliant la densité des plantes (De) par le recouvrement des espèces. Vingt échantillons de chaque espèce à ont été coupé au ras du sol et séchés dans une étuve en 103 °c pendant 72 h jusqu'à poids constant, La masse sèche moyenne de chaque individu a été calculée selon la formule suivante :

$$MS_{moy}(kg/i) = \frac{MF_{moy}}{(H_{moy} + 1)}$$

Pour calculer la masse végétale moyenne de la partie aérienne de l'espèce, la masse sèche de chaque individu a été multiplié par leur densité de son bois. Les stocks du carbone des ligneux (C) sont liés à la phytomasse sèche, Ils sont estimés par la relation décrite par (Tsoumou et al, 2016) En multipliant par 0,5.

Notre approche phytosociologique est basée sur celle de Braun-Blanquet. Elle repose sur la relevée phytosociologique effectuée sur le terrain et leur classement par l'analyse factorielle des correspondances. On utilise le logiciel « SPSS 29 »

Le résultat final et donnée par le tableau n°1 en annexe.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

La phytomasse sèche moyenne (kg/ha) et la quantité de carbone stocké moyenne (kg/ha) des espèces de la strate arbustive apparaisse comme suit :

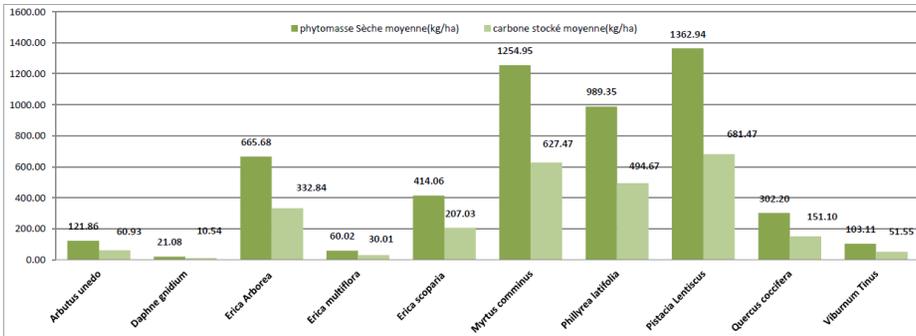


Figure 2 : La phytomasse sèche/ le carbone stocké moyenne de la partie aérienne du chaque espèce kg/ha/placette 1.

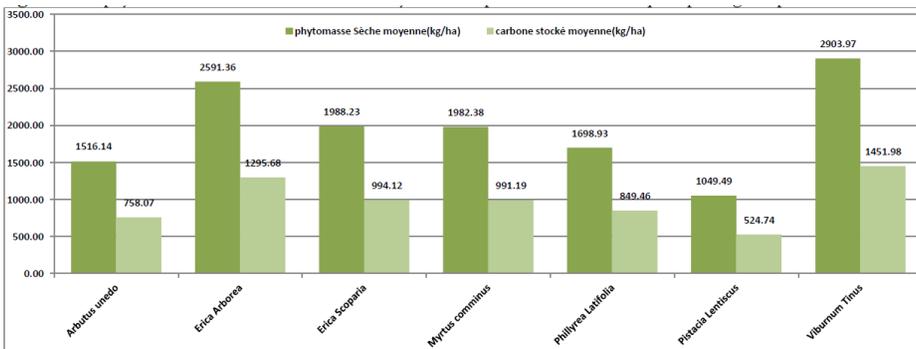


Figure 3 : La phytomasse sèche/ le carbone stockée moyenne de la partie aérienne du chaque espèce kg/ha/placette 2.

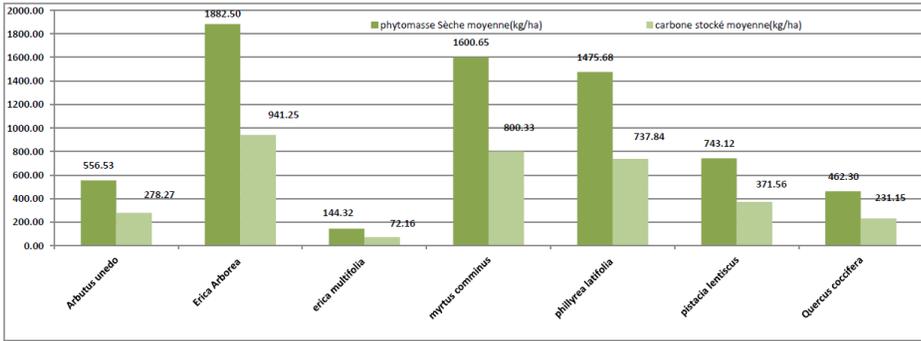


Figure 4 : la phytomasse sèche/ le carbone stockée moyenne de la partie aérienne du chaque espèce kg/ha/placette 3.

La phytomasse moyenne pour chaque espèce varie de 21,08 kg/ha à 1362,94 kg/ha Pour la première placette, 1049,49 kg/ha à 2903,97 kg/ha pour la seconde placette et entre 144,32 kg/ha et 1882,50 kg/ha pour la troisième.

La quantité de carbone stocké varie selon les espèces de 10.54 kg/ha à 681.47 kg/ha pour la première placette, 524.74 kg/ha à 1451.98 kg/ha pour la seconde et 72.16 kg/ha à 941.25 kg/ha de carbone stocké pour la troisième.

Les investigations du terrain et les analyses du laboratoire, nous ont permis de constater que la matière sèche des divers arbustes méditerranéens varie d'une espèce à l'autre vue de sa diversité végétale spécifique.

En s'appuyant sur 2 critères phytosociologique selon l'école de Braun-Blanquet (aire minimale et échelle d'abondance-dominance), Saoudi (1983) pour toutes les strates, El Hamrouni (1992) pour la strate arbustive, ont été intéressées en Kroumirie par la détermination de la biomasse pour d'autres objectifs, la séquestration du carbone n'était pas encore alors prise en compte. Les moyennes des résultats de la biomasse aérienne arbustive obtenues par Saoudi sont de 25T/ha de matière verte et 13T/ha de matière sèche.

Les résultats de l'analyse factorielle de la correspondance à laquelle étaient soumis les 20 relevés réalisés dans les trois stations choisies, sont l'objet du tableau n° 1 suivant :

Tableau 1: valeurs propre et pourcentages d'inertie des premiers axes factoriels.

AXES	Valeurs propres	% d'inertie	% d'inertie cumulés
1	12,001	60,007	60,007
2	2,544	12,719	72,726
3	1,698	8,488	81,214

L'examen de ce tableau montre que le nuage de points relevés est bien structuré le long de l'axe 1, à valeur propre fortement supérieure à celles des deux autres. La faible valeur de l'axe 3 nous conduit à ne considérer dans notre analyse que le plan factoriel (1x2).

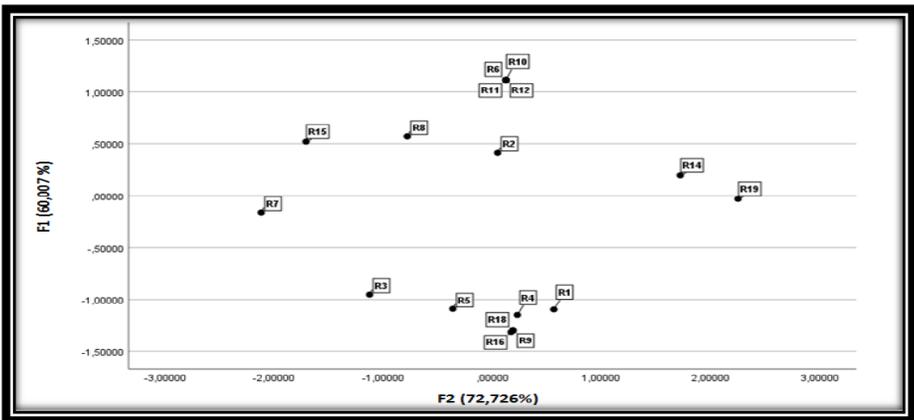


Figure 5 : Analyse globale : carte des relevés dans le plan factoriel 1-2

La signification écologique des axes peut être obtenue par l'intermédiaire des relevés qui ont une forte contribution relative à chacun des axes : plus celle-ci est élevée, plus ce relevé participe à la définition de l'axe. Notons qu'aux relevés à forte contribution relative correspondent des conditions stationnelles privilégiées.

Parmi les 20 relevés représentés, ceux numérotés (R9,R10,R11,R12,R13,R14,R16) se trouvant dans la partie négative de l'axe 1 sont sur sol calcaire, ceux portant les numéros (R8,R15,R17,R19,R20) situés dans sa partie positive sont sur flysch numidien. L'ensemble de ces relevés à forte contribution donnent une signification édaphique à cet axe.

D'un autre côté les relevés (R8,R10,R11,R12,R13,R14,R15,R20) se rapportant également à la partie positive de l'axe 2 et les relevés (R9,R16,R19) à sa partie négative, où le chêne-liège et le viorne laurier-tin qui supportent une fraîcheur relative auxquels s'ajoute l'arbousier et la bruyère multiflores plutôt méso-thermes donnent à cet axe une signification climatique. Ceci montre que certains de nos relevés recèlent des espèces supportant une variante hivernale relativement fraîche (*Viburnum tinus*, *Quercus suber*, *Pistacia lentiscus*, *Erica multiflora*) à chaude (*Quercus coccifera*, *Arbutus unedo*), c'est-à-dire entre la moyenne minimale du mois le plus froid de 3°C à Aïn Draham et celle de 11,1°C à Tabarka.

Le classement des relevés en présence/absence a donné un tableau mettant en évidence une association à la quelle se rattachent deux sous-associations, une variante et deux faciès.

L'association est par deux espèces ; *Quercus coccifera* et *Viburnum tinus*, qui permettent de lui donner le nom de *Viburno (tinus) - Quercetum cocciferae*.

A cette association se rattachent deux sous-associations. Dans ce qui suit, nous désignons l'association par A la première sous-association par B et la seconde par C.

- La sous-association (B) ou *Cisto salvifoliae ampelodesmetosum mauritanici* est constituée par les relevés (R4, R18, R16, R3, R1, R15, R17, R9, R2). Elle est différenciée par *Cistus salvifolius*, arbrisseau méditerranéen, sur sol siliceux et par *Ampelodesmos mauritanicum*, espèce de la méditerranée occidentale, liée aux marnes, qui se retrouve aussi en Libye et en Dalmatie. Le relevé type de l'association(A) et de la sous-association (B) est le R2.

- La sous-association (C) ou *crataeetosum azaroli*, formée par les relevés R5 et R14, reliés par la différentielle *Crataegus azarolus*. Le relevé type de cette sous-association c'est le R14.

Par ailleurs, *Arbutus unedo*, *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Smilax aspera* et *Teucrium fruticans*, parmi les caractéristiques de la classe.

Myrtus communis, *Daphne gnidium*, parmi celles de l'ordre et *Erica arborea* parmi celles de l'alliance, nous permettent de classer nos unités dans le schéma syntaxonomiques suivant:

- Classe: *Quercetea ilicis* (Braun.Blanquet,1947).
- Ordre: *Pistcio-Rhamnetalia Alaterni* (Rivas Martinez,1974).
- Alliance : *Ericion arborea* (Rivas Martin,1974).
- Association(A): *Viburno tinus Quercetum cocciferae*
 - Sous-association(B): *cisto salvifoliae ampelodesmetosum mauritanici*.
 - Sous-association (C) : *crataeetosum azaroli* (Rivas Martinez 1975, 1987).
 - Variante: *Arbutus unedo* et *Quercus suber*
 - Faciès à *Arbutus unedo*
 - Faciès à *Quercus suber*

L'affinité des relevés est telle qu'apparaissent au niveau de l'association, comme cité précédemment, une variante et deux faciès. La variante est représentée par les deux espèces *Arbutus unedo* et *Quercus suber* qui contribuent à la réunion des relevés (R15, R17, R9, R2, R19, R6, R7, R12 et R13) occupant le centre du tableau phytosociologique.

Le premier faciès donné par les 5 relevés affines (R4, R18, R16, R3, R1), situés dans la partie gauche du tableau est à Chêne-liège. Le second faciès ou faciès à Arbousier est fourni par les relevés (R10, R11, R20, R8, R5, R14), Cela indique que la phytocénose étudiée est une zone de transition entre la subéraie et la pinède maritime dont la physionomie est marquée par le Pin maritime, le Chêne-liège et l'arbousier.

Le faciès à *Quercus suber* montre qu'elle est encore sylvatiques, celui à *Arbutus unedo* indique une dynamique régressive la menant par dégradation au maquis à *Ericacées* de Debazac ou d'El Afsa, déjà cités.

Quel que soit le faciès, avec ou sans *Arbutus unedo*, la formation qui nous intéresse, avec une strate arbustive où abondent les espèces du sous-bois (bruyères, myrte et arbousier), et une strate arborée peu fournie, n'est qu'un matorral assez bas, très dense mais faiblement arboré.

Selon les données de la station météorologique de Tabarka (P = 1010 mm, T° =26,6 °C du mois le plus chaud) et les unités dégagées se trouveraient concernées par l'ambiance humide a variante chaude.

Du point de vue écologique, bien que la présence d'*Erica scoparia* et *Genista ulicina* indique déjà un lessivage, celle de *Viburnum tinus*, *Myrtus communis*, *Rubus ulmifolius* et *Smilax aspera* montre que le groupement décrit se développe sur un sol riche en humus. en ambiance humide inférieure, la notice de la carte phytocécologique de la Tunisie septentrionale (feuille III) ne mentionne dans la série du Pin maritime qu'un seul groupement, celui à *Pinus pinaster* subsp. *Renouii*, *Erica arborea*, *Halimium halimifolium*. A caractère édaphique psammophile, ce dernier taxon ne poussant pas dans notre zone d'étude ne figure donc pas dans nos relevés. Notre association ne lui ressemble pas à ce groupement.

Toute fois, dans le même bioclimat, Shenonberger ; furet ; solaire 1967 ; décrivent un groupement sur sol frais et profond, le groupement à *Quercus suber*, *Pistacia*, et *Viburnum tinus*, précèdent un faciès à *Viburnum tinus* avec *smilax aspera*, *Myrtus communis*, *rubus ulmifolius* espèces figurant dans la liste de notre tableau phytosociologique.

Cependant compte tenu du fait que les caractéristiques de l'association sont *Viburnum tinus*, espèce aimant la fraîcheur et *Erica multiflora* plutôt thermophile, se retrouvant toutes deux dans une zone de transition, soit donc à plus ou moins 400 mètres

d'altitude, les unités que nous avons identifiées se rapprochent par la première espèce à la subéraie fraîche et par la seconde à la subéraie chaudes indiquées par les deux sous-associations avec ou sans Myrte, *Arbutus unedo* El Afsa(1978) rattache au *Cytisotriflori-Quercetum suberis*.

Commune à la série du Chêne-liège et à celle du Pin maritime, l'association décrite est entre les variantes hivernales douce et fraîche et à cheval entre les étages de végétation thermo méditerranéen et méso méditerranéen d'Ozenda (1975).

En s'appuyant sur 2 critères, l'un dendrométrique (hauteur), l'autre phytosociologiques (abondance-dominance) selon l'école de Braun-Blanquet, Saoudi (1983) travaillant en Kroumirie a établi trois tarifs de biomasse moyenne sut pied, en prenant en compte soit la hauteur, soit l'abondance-dominance, soit les deux à la fois.

La hauteur moyenne entre deux et quatre mètres (4-7m) et la biomasse verte moyenne de 14100T/ha de nos arbustes, La comparaison de nos résultats à ceux du troisième tarif de biomasse de Saoudi (donné ci-dessous) les place pour la même hauteur dans la colonne de l'indice 2 d'abondance-dominance

Ainsi en utilisant la hauteur moyenne des strates dans une formation forestière et les classes d'abondance -dominance de ses espèces, il est possible de déterminer sa biomasse fraîche sans procéder à des prélèvements.

Abondance-dominance	+	1	2	.	4	5
Hauteur						
0-25 cm	1	1,5	2,5	6	.	.
25 cm-50 cm	1,1	1,7	3,3	7		.
50 cm-1m	1,3	1,9	4	10,8		.
1 m-2 m	.	2,8	7,6	20	16	.
2m-4m	.	4,7	9,2	25	30	.
4m-7m	.	.	13		40	.
7m-11m	.	.	.	.	.	.
Sup. à 11m	.	.	.	.	.	.

4. CONCLUSION

En conclusion, cette étude phytosociologique visant à évaluer la quantité de carbone séquestré dans la partie aérienne arbustive d'une association végétale du maquis d'un matorral de la formation mixte de *Pinus Pinaster* et *Quercus Suber* dans le nord-ouest de la Tunisie a permis d'obtenir des résultats significatifs

Les prélèvements et mesures effectués sur l'ensemble des arbustes de l'association et de ses sous-unités ont conduit à une estimation moyenne de 14260.28 kgC/ha de carbone séquestré. La démarche phytosociologique, soutenue par vingt relevés floristiques et une analyse factorielle des correspondances, a permis de classer l'association en question, identifiant deux sous-associations, une variante et deux faciès appartenant à la classe des *Quercetea ilicis*, ordre des *Pistacio-Rhanetalea alaterni*.

Ces résultats contribuent à une meilleure compréhension de la capacité de séquestration de carbone des écosystèmes forestiers tunisiens, tout en soulignant l'importance de méthodologies phytosociologiques dans l'évaluation précise de la biomasse végétale et du carbone stocké. Cette approche offre ainsi des perspectives utiles pour la gestion durable des ressources forestières et la prise de décisions éclairées en matière de conservation de la biodiversité et de lutte contre le changement climatique.

Références

- 1- Boutheina Stiti, Yaussra Mannai, Abdelhamid Khaldi, Belgacem Henchi, 2012, Richesse Spécifique Et Distribution Spatiale De La Strate Arbustive De La Subéraie De Ain Snoussi Tunisie.
- 2- Boutheina Stiti, Yaussra Mannai, Abdelhamid Khaldi, Belgacem Henchi, 2012, Richesse spécifique et distribution spatiale de la strate arbustive de la subéraie d'AinSnoussi, Tunisie.
- 3- Braun-blanquet, G, 1947, les groupements végétaux supérieurs de la France. In : J. Braun-blanquet, L. Emberger et T. Molinier(eds). Instructions pour l'établissement de la carte des groupements végétaux C.N.R.S., Montpellier.
- 4- Chaabane Abdlaziz, 1993, Etude De La Végétation Du Littoral Septentrional De Tunisie; Typologie, Syntaxonomie Et Eléments D'aménagement
- 5- Coomes, David A. et al. 2017. « Area-Based vs Tree-Centric Approaches to Mapping Forest Carbon in Southeast Asian Forests from Airborne Laser Scanning Data ». Remote Sensing of Environment.
- 6- Debazac, 1959, La Végétation Foréstièrè De La Kroumirie Annales De L'école Nationale Des Eaux Et Forêts.
- 7- Di Castri, M Hadley, J Damlamian –Ambio, 1981, The Man and The Biosphere Program As An Evolving System.
- 8- El Afsa M., 1978. Ecologie, phytosociologie, régénération et production des subéraiestunisiennes. Fac. Sci et Tech. St Jérôme. Aix Marseille-III,(Thèse de Doctorat 3ème cycle).pp 123.
- 9- Jean-Marie Géhu, 2010, Le Centenaire D'une Science D'actualité, La Phytosociologie Moderne, Et Quelques Jalons Historiques De Son Développement .Le Journal De Botanique De La Société Botanique De France, 50:33-57.
- 10- Joseph Armathé Amougou, Lucas Dominique Bembong Ebokona, Romain Armand Soleil Batha, Armand William Mala, Hortense Ngono, 2016, Estimation Du Stock De Carbone Dans Deux Unités De Terre En Zone De Savane Du Cameroun
- 11- Navarro Cerrillo, Blanco Oyonarte, 2006, Estimation of Above-Ground Biomass InShrublandEcosystemsOf Southern Spain.
- 12- Rivas Martinez, 1974, Ensayo sintaxonomico sobre la clase Quercetea ilicis Br-BI. 1947. Anal. Inst.bota cavanilles, 31 : 205-259.
- 13- Tsoumou, Lumandé, j. Kampé et Nzila, 2016, Estimation de la quantité de carbone séquestré par la Forêt Modèle de Dimonika (Sud-ouest de la République du Congo), Revue Scientifique et Technique Forêt & Environnement du Bassin du Congo, 6,pp. 39-4
- 14- Wharton and Griffith, 1993, Methods To Estimate Total Forest Biomass For Extensive Inventories: Applications In The North eastern U.S.U.S.D.A. Forest Service Research Paper NE-681. 161 Pp

التغيرات المناخية ومشاريع التهيئة الفلاحية بسهل الغرب (المغرب) ، محمد فتحي

جامعة الحسن الثاني الدار البيضاء كلية الآداب والعلوم الإنسانية بن مسيك

ملخص

يعد المغرب من أكثر المناطق عرضة للمخاطر المناخية بحكم موقعه في العروض البيمدارية حيث يوجد في منطقة انتقالية، حيث يشهد تدبذبات في معدلات التساقطات المطرية، وازدياد واضح في توالي سنوات الجفاف، الأمر الذي سينعكس سلبا على موارده المائية إضافة إلى تأثير ذلك على الإنتاج الزراعي وبالتالي على توفير الأمن الغذائي من جهة وعلى الاستقرار الاجتماعي من جهة ثانية. ويتطلب العمل بمشاريع فلاحية مواكبة للوضع المناخي الجديد الذي يعرفه المغرب في الوقت الحالي.

الكلمات المفتاح: التغيرات المناخية – التهيئة الفلاحية – سهل الغرب

Résumé

Le Maroc est considéré comme l'une des régions les plus vulnérables aux risques climatiques en raison de sa situation dans les régions tropicales, où il se situe dans une région de transition, où il connaît des fluctuations des taux de précipitations et une nette augmentation des années successives de sécheresse, ce qui a un impact négatif sur ses ressources en eau en plus de son impact sur la production agricole, assurant ainsi la sécurité alimentaire d'une part et la stabilité sociale d'autre part. Travailler sur des projets agricoles nécessite de suivre le rythme de la nouvelle situation climatique que connaît actuellement le Maroc.

Mots clés : changement climatique –aménagement agricole - plaine Gharb

¹ Corresponding author: panoya83@yahoo.fr

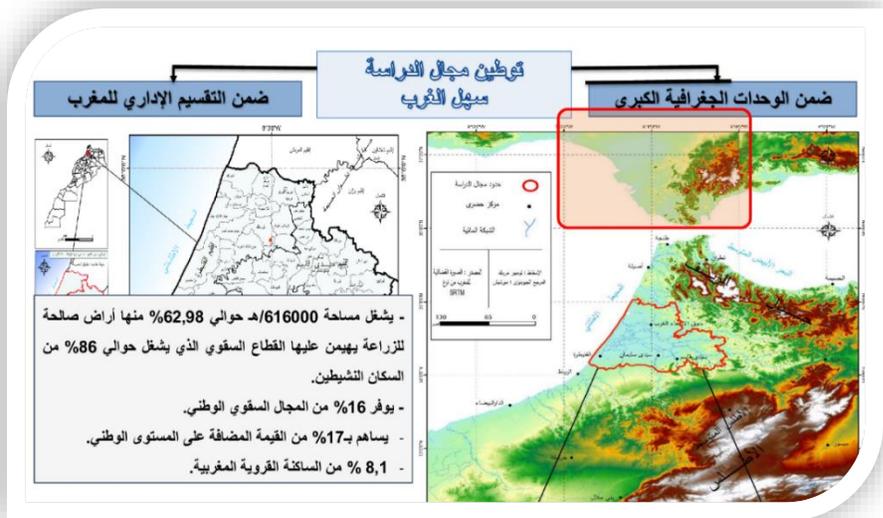
تقديم:

أضحى التغير المناخي أحد أبرز القضايا الرئيسية الكبرى للباحثين في علم المناخ، وصانعي القرار السياسي، إذ يشكل تحدي قوي يواجه البشرية قاطبة، لما له من انعكاسات سلبية على المنظومة البيئية وعلى مجمل القطاعات الاقتصادية والاجتماعية.

ويعد التغير المناخي تحدي حقيقي يهدد العالم قاطبة، خاصة مع الزيادة الملحوظة في درجة الحرارة التي سجلها الكوكب الأرضي في العقود الأخيرة وبرزت ظواهر مناخية قصوى كتوالي موجات الجفاف وحدوث فيضانات خطيرة تؤثر سلبا على الأنشطة الاقتصادية وعلى القطاعات الاجتماعية.

يعد المغرب من بين البلدان الأكثر عرضة للتغيرات المناخية بحكم موقعه ضمن العروض شبه المدارية، هذا الموقع يجعله ضمن منطقة انتقالية بين النطاق الحار جنوبا والنطاق المعتدل شمالا، هذه المنطقة تعرف جملة من الاضطرابات المناخية من قبيل ارتفاع درجة الحرارة فوق المتوسط العالمي، واختلال قوي في معدلات التساقطات المطرية التي أصبحت تسجل تراجع واضح لاسيما في القسم الشمالي من المغرب، ومن التداعيات المتوقعة لهذه التغيرات¹:

- مشكلة الامن الغذائي والخصاص المائي وتدهور وضعية التربة مما سيؤثر سلبا على القطاع الفلاحي.
- التأثير القوي على الجانب الصحة بفعل التوزيع الجغرافي للأمراض المنقولة (المالاريا، الكوليرا).
- هشاشة المجالات الساحلية بفعل الهشاشة الطبيعية وتدهور عوامل الحماية الطبيعية (الغرب، المحمدية، السعدية، الدار البيضاء...).
- التعرية والآثار على التنوع الحيوي بفعل التحول المطرد لمنطقة شمال المغرب إلى منطقة جافة مما يؤدي إلى هجرة الأصناف التي تعيش في المناطق شبه الصحراوية نحو المرتفعات.

تحديد مجال الدراسة:

¹ المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي، 2015، إدماج التغيرات المناخية في السياسات العمومية، تقرير المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي أكتوبر 2015، ص 31.

يرتبط مجال الدراسة التي نحن بصدها بالمنطقة الواقعة بالقسم الشمالي الغربي للمغرب والمتجسدة في سهل الغرب الذي يمتد على مساحة تبلغ 4200 كلم مربع² هذا الأخير الذي ينتمي كما ينتمي السهل إلى حوض سبو الشاسع والذي يغطي بدوره مساحة تقدر ب 40000 كلم مربع³. إلى جهة الرباط سلا القنيطرة، هذه الجهة التي تحظى بموقع جغرافي متميز بالشمال الغربي للمملكة على الهضبة الوسطى وسهل الغرب، وتجمع بين قطب إداري واقتصادي وقطب صناعي وفلاحي. وبهذا أصبحت متعددة الموارد ومتنوعة المؤهلات. إذ تحدها شمالا جهة طنجة-تطوان - الحسيمة، وجنوبا جهتي الدار البيضاء-سطات وجهة بني ملال-خنيفرة وشرقا جهة فاس-مكناس، وغربا المحيط الأطلسي.

تتكون هذه الجهة من ثلاث عمالات هي الرباط وسلا والصخيرات-تمارة وأربعة أقاليم وهي القنيطرة والخميسات وسيدي قاسم وسيدي سليمان. تغطي مساحة تقدر ب 17.570 كلم²، أي ما من مجموع المساحة الإجمالية للمملكة. تتوزع هذه المساحة على الشكل التالي: 2,6118% يمثل كلم² بعمالة الرباط و672 كلم² بعمالة سلا و485 كلم² بعمالة الصخيرات-تمارة. ثم 8.305 كلم² بإقليم الخميسات و3052 كلم² بإقليم القنيطرة و3113 كلم² بإقليم سيدي قاسم وأخيرا 1825 كلم² بإقليم سيدي سليمان⁴.

الإشكالية:

يوجد المغرب في منطقة انتقالية بين العروض المعتدلة شمالا والعروض الحارة جنوبا، الأمر الذي يجعل سهل الغرب في موقع هش أمام التغيرات المناخية، وهو وضع نتج عنه عدة إكراهات بالنسبة للفلاحة المغربية التي أصبحت تستدعي الاعتماد على تدابير جديدة لتحقيق التأقلم والتكيف لاسيما على مستوى التجهيزات الهيدرولوجية.

بفعل توالي موجات الجفاف المناخي في السنوات الأخيرة وتذبذب معدلات التساقطات المطرية وتراجعها بشكل قوي على مستوى سهل الغرب عرفت المواسم الفلاحية ضعفا في الإنتاجية، بفعل تراجع المياه على مستوى السدود، حيث سجلت مستوى ملء جد ضعيف، وذلك نتيجة السنوات الخمس الماضية التي لم تسجل تساقطات مطرية مهمة، كل هذا أثر بشكل كبير على الموسم الفلاحي والغطاء النباتي والنباتات، ومحاصيل الإنتاج الزراعي خصوصا الحبوب، وأثر كذلك على كل المناطق السقوية لاسيما المنطقة السقوية لسهل الغرب التي تعتمد على التجهيزات الفلاحية الأكثر عقلنة وترشيذا لاستعمال المياه.

وبناء على ذلك تم اعتماد سياسة طوعية من أجل تعميم تقنيات الري المقتصد للماء وتأمين مياه الري الزراعي. وتمت ترجمة هذه السياسة في مجموعة من البرامج الرئيسية:

- البرنامج الوطني لاقتصاد مياه الري.
- برنامج توسيع الري بسافلة السدود: يستهدف إحداث مناطق مسقية جديدة وتعزيز الري داخل النطاق المسقي الحالي.

² - محمد فتحي 202 ، أثر التغيرات المناخية على الأمن الاجتماعي بالمغرب: العالم القروي نموذجاً، سلسلة دراسات أكاديمية محكمة تصدر عن المركز المتوسطي للدراسات والأبحاث، الجزء 11 فبراير 2022.

³ - محمد فتحي 202 ، أثر التغيرات المناخية على الأمن الاجتماعي بسهل الغرب، التقرير الاستراتيجي السنوي بعنوان واقع ومستقبل التغيرات المناخية العالمية، المركز الديمقراطي العربي للدراسات الاستراتيجية والاقتصادية والسياسية، ص 278.

⁴ منوغرافية جهة سلا الرباط القنيطرة 2020، ص 21.

- برنامج إعادة التأهيل والمحافظة على الدوائر السقوية الصغرى والمتوسطة: من أجل تحسين كفاءة ومردودية البنية التحتية للري التقليدي في الدوائر السقوية الصغرى والمتوسطة.
 - برنامج تعزيز الشراكة بين القطاعين العام والخاص في مجال الري: ويتوخى تحسين الظروف التقنية والاقتصادية والمالية لتدبير خدمة مياه الري، من خلال إنجاز مشاريع ري جديدة في إطار الشراكة بين القطاعين العام والخاص.
 - مشروع تحويل المياه من حوض سبو إلى حوض أي رقرق.
- من هذا المنطلق تفرز أمامنا جملة من التساؤلات، نجد في مقدمتها: ماهي مميزات التغير المناخي وما تجلياته على المستوى الدولي والوطني؟ ماهي أهم مكنيزات التغيرات المناخية التي يشهدها سهل الغرب؟ ماهي انعكاسات التغيرات المناخية على الموارد المائية خصوصا على مستوى السهل؟ إلى أي حد تؤثر خصائص المجال الطبيعية والسوسيواقتصادية لسهل الغرب في تحفيز التعرض للمخاطر الطبيعية الناجمة عن التغيرات المناخية؟ وكيف يمكن لنظم المعلومات الجغرافية أن تساعد على تفسير الظواهر المناخية القصوى التي يشهدها السهل وكذلك على تحديد مناطق الخطر؟ وماهي استراتيجيات التدخل من أجل التكيف والتخفيف من آثار كل من الفيضانات وموجات الجفاف والحر بمنطقة الدراسة؟ ما هي أبرز مشاريع التهيئة الفلاحية الموجهة للتكيف مع التغيرات المناخية الحالية؟

أهمية الدراسة:

تكمن أهمية الدراسة الحالية في كونها ورقة علمية تهدف إلى إبراز آثار التغيرات المناخية على الموارد المائية المتاحة بسهل الغرب وعلى السياسة المائية المتبعة في ظل الوضع المناخي الجديد الذي يتسم ببروز ظواهر مناخية قصوى كتوالي سنوات الجفاف وظهور موجات حر قوية تتجاوز 47 درجة مئوية على مستوى السهل، ناهيك على الفيضانات التي تعم المنطقة بين الفينة والأخرى. كما تتجسد أهمية الدراسة في رفع التحدي المتمثل في إنتاج كميات أكبر من المنتجات الفلاحية باستعمال كميات أقل من الماء وبشكل مستدام وتنافسي من أجل «ترشيد وتثمين مياه الري».

منهجية البحث:

قامت منهجية البحث على استخدام:

المنهج التاريخي المقارن: يقوم على المقارنة بين المعطيات الإحصائية المناخية والسوسيواقتصادية لمدد زمنية تختلف حسب المؤشرات وحسب توفر المعطيات لإدراك اتجاه تطور الظاهرة المدروسة واتجاه التغير المناخي عالميا وإقليميا ومحليا وكذا نوع العلاقة المحتملة بينه وبين فيضانات سهل الغرب.

المنهج الاستقرائي التحليلي: يسمح باستقراء المجال المدروس وتحليل البيانات والإحصائيات المرتبطة به، مع أخذ العوامل المسببة في الظاهرة المدروسة بعين الاعتبار، كما يحرص هذا المنهج على رصد العلاقات التفاعلية بين المتغيرات.

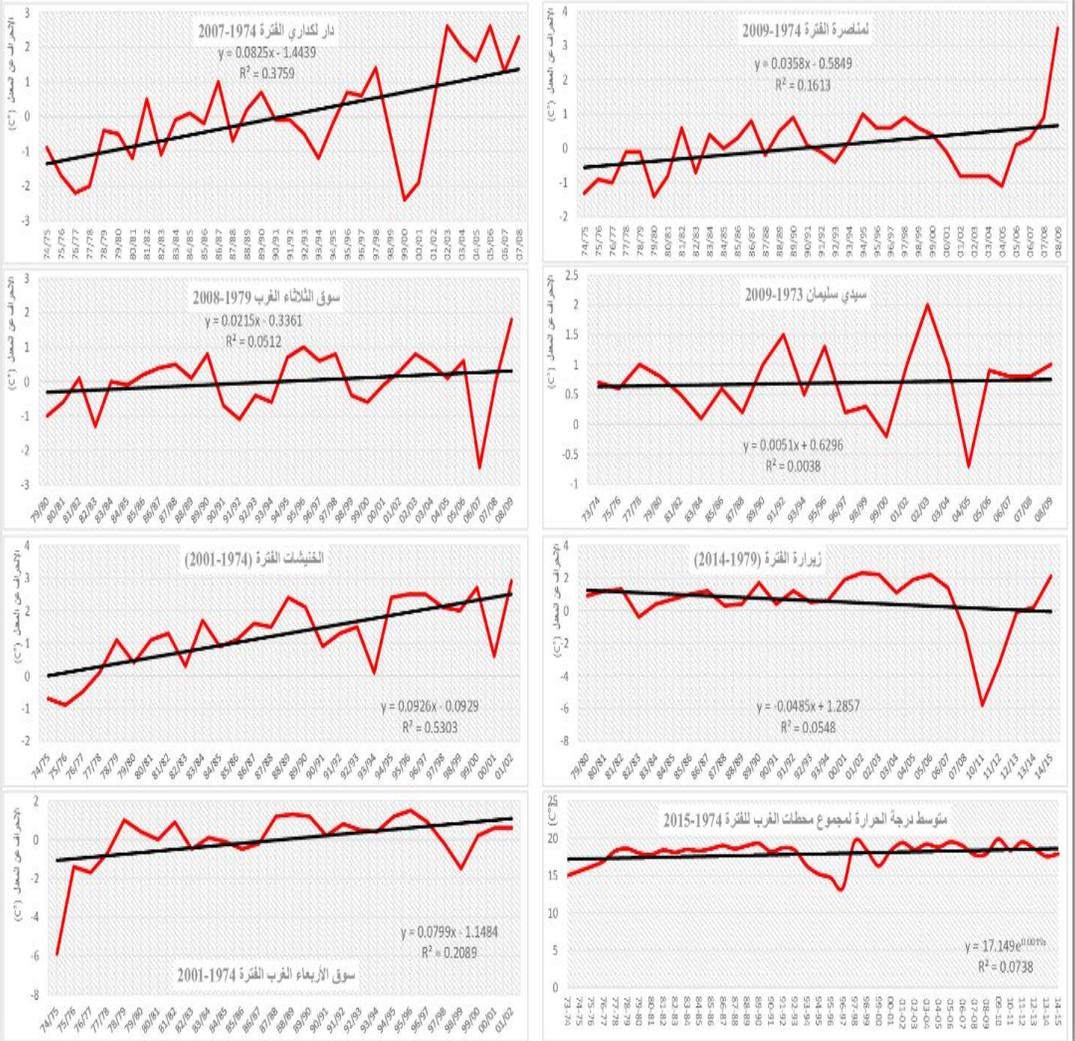
1- التغير المناخي على مستوى سهل الغرب:

الشذوذ الحراري على مستوى سهل الغرب:

عرفت السنوات الأخيرة ارتفاعا مستمرا لمتوسط درجات الحرارة العالمية والتي بدورها تُحدث استجابةً للمستويات المتزايدة من الغازات الدفيئة التي ينتجها الإنسان، لذا أصبح من السهل تجاوز معايير المناخ حتى بدون أحداث "النينيو" القوية.

من خلال تتبع تطور درجة الحرارة على مستوى سهل الغرب، يتضح أن هناك نزعة نحو الارتفاع الحراري، حيث سجلت جميع محطات الرصد سواء بإقليم القنيطرة أو سيدي سليمان أو سيدي قاسم ارتفاعا في المعدلات الحرارية المسجلة. بحيث عرفت متوسطات درجة الحرارة المسجلة انحرافات متطابقة مع ما هو مسجل على المستوى الدولي ويظهر أن هناك علاقة جدلية بين ما يشهده السهل وما يعرفه العالم من انحرافات حرارية. (انظر للرسوم البيانية التالية):

تطور انحراف درجات الحرارة عن مغلها في بعض محطات الرصد بسهل الغرب خلال الفترة 1974-2015

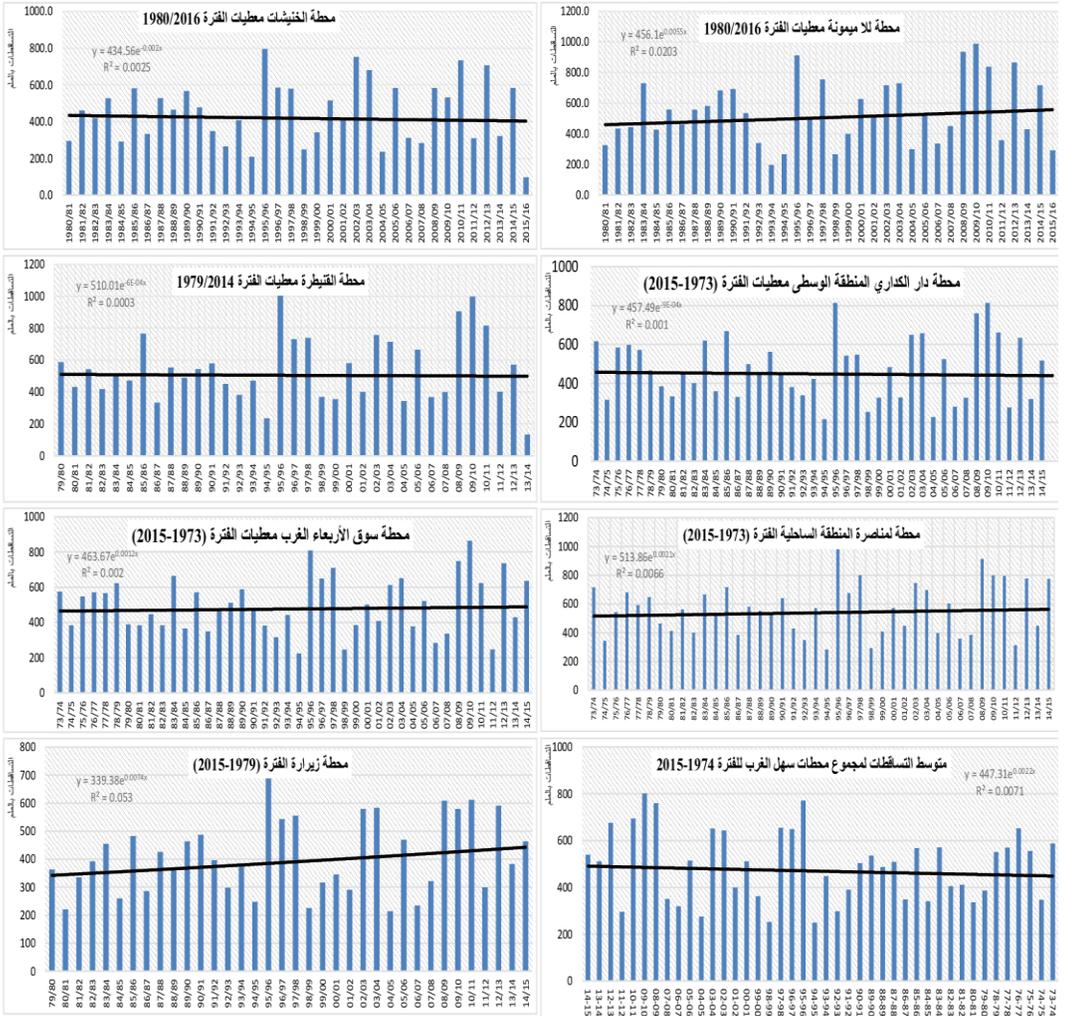


التغابرية المطرية و حدوث الفيضانات:

فمن خلال معدلات التساقطات المطرية المحصل عليها للمحطات الرصدية المدروسة والتي تم تحويلها إلى رسوم بيانية لتسهيل قراءتها وتحليلها، اتضح أن التوزيع السنوي للتساقطات المطرية يعرف تذبذبات كبيرة من سنة إلى

أخرى، ففي بعض السنوات يعرف السهل سنوات مطيرة (2010، 2009، 1996)، بالمقابل يمكن أن يشهد السهل سنوات جافة (2013، 1990، 1981) (انظر الرسوم البيانية التالية):

تطور كميات التساقطات (بالملم) في بعض محطات الرصد بسهل الغرب خلال الفترة 1974-2015



مشاريع التهيئة الفلاحية بالمغرب:

توحي الاستراتيجية الفلاحية الجديدة "الجيل الأخضر 2020-2030" مواصلة الجهود المبذولة في مجال ضبط وترشيد استعمال المياه في الفلاحة. وتطمح هذه الاستراتيجية إلى مضاعفة النجاعة المائية وتنمية قطاع زراعي ناجح وفعال من حيث احترام المنظومة البيئية. بالإضافة إلى إتمام عدة مشاريع جارية، ويتعلق الأمر بتفعيل الشق المتعلق

بالمياه الزراعية في البرنامج الوطني للتزويد بمياه الشرب والري 2020-2027. ويهم هذا البرنامج مساحة إجمالية تناهز 510 000 هكتار لفائدة 160000 مستفيد باستثمار يصل إلى 14.7 مليار درهم.

وستوجه الجهود التي ستبدل في هذا الصدد بشكل خاص إلى:

- إتمام إنجاز مشاريع عصرنة شبكات الري الجماعية الجاري تنفيذها على مساحة 70 000 هكتار.
- استكمال مشاريع توسيع الري الجاري تنفيذها على مساحة 44 000 هكتار.
- مواصلة الجهود المبذولة في مجال اقتصاد المياه وعصرنة شبكات الري، عبر تجهيز مساحة إضافية تبلغ 350 000 هكتار، لترتفع المساحات الإجمالية المجهزة بأنظمة الري المقتصد للماء إلى أزيد من 940 000 هكتار في أفق 2027، أي حوالي 60% من المساحات المسقية. وسيتمكن ذلك من اقتصاد أزيد من 2,5 مليار متر مكعب من الماء سنويا.
- مواصلة مشروع التهيئة الهيدرولوجية لحماية أزيد من 30 000 هكتار من الأراضي المسقية في سهل سايس من خلال جلب المياه المعبئة بواسطة سد امدرز.
- الحفاظ على الفلاحة السقوية الصغيرة من خلال إعادة تأهيل وتجديد البنية التحتية للدوائر السقوية الصغرى والمتوسطة على مساحة 150 000 هكتار، وعلى الخصوص في المناطق الهشة.
- الإعداد الهيدرولوجي للمنطقة الجنوبية-الشرقية لسهل الغرب. ويهدف هذا المشروع الطموح إلى توسيع الفلاحة المسقية على مساحة 30 000 هكتار عبر تهيئة الموارد المائية المعبئة بواسطة سد الوحدة.
- تطوير مشاريع جديدة للشراكة بين القطاعين العام والخاص في مجال تحلية مياه البحر.
- تطوير استعمال الطاقة الشمسية في ضخ مياه الري.

مشاريع التهيئة الفلاحية على مستوى سهل الغرب:

يعتبر سهل الغرب من أغنى السهول الوطنية فيما يخص الإرث الهيدرولوجي، والذي يستثمر أساسا في تنمية المنطقة بتوسيع مساحتها الزراعية والمسقية، وكذا تنوع إنتاجها الفلاحي.

أمام إشكالية ضياع هذا المورد الحيوي، عملت الدولة على تنفيذ مجموعة من المشاريع الاستثمارية المبرمجة في إطار المخطط الفلاحي الأخضر، الذي يعتبر بمثابة الدعامات الأساسية للتنمية الشاملة والمندمجة، حيث أعطى للقطاع الفلاحي أهمية كبرى بفعل مساهمته بين 15% إلى 20% من الناتج الداخلي الخام، وذلك حسب محاصيل الحبوب، كما يؤثر هذا القطاع بشكل قوي في نسبة نمو صادرات المملكة، ويعتبر مصدرا أساسيا للدخل بنسبة 80% من الساكنة القروية، ويوفر أيضا أكثر من 4 ملايين يوم عمل للساكنة القروية.⁵

ومن أبرز المشاريع التي جاء بها المخطط الأخضر خصوصا ما لها علاقة بسهل الغرب، نذكر هنا:

- البرنامج الوطني لاقتصاد ماء السقي PNEI.⁶
- برنامج توسيع المساحات المسقية (انظر الخرائط المرفقة).

⁵ هـ لف المخططات دعامة أساسية للاقتصاد والتنمية، 2011، الاستراتيجية الفلاحية مخطط المغرب الأخضر، مجلة المالية لوزارة الاقتصاد والمالية العدد 15 يونيو 2011، ص 7 و8.

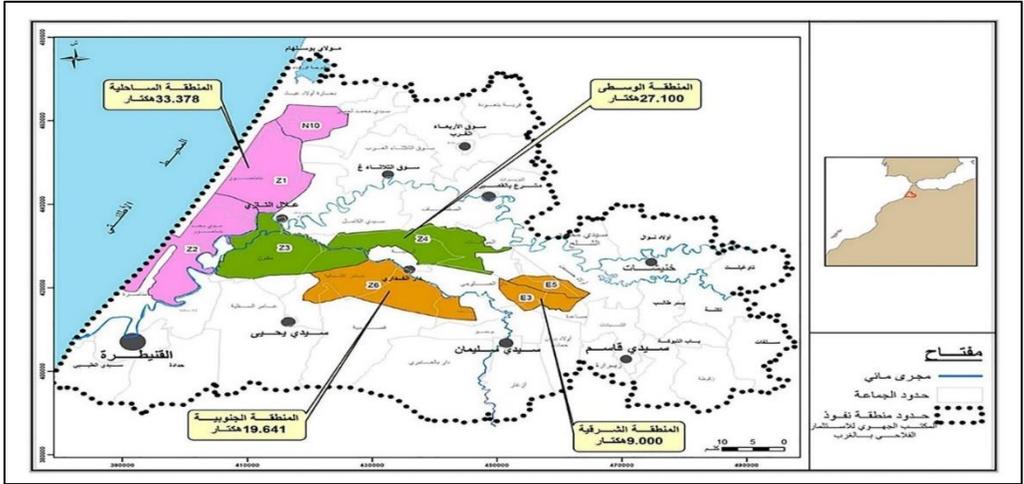
⁶ المكتب الجهوي للاستثمار الفلاحي الغرب القنيطرة، 2015.

جدول رقم 1: البرنامج الوطني لاقتصاد مياه السقي

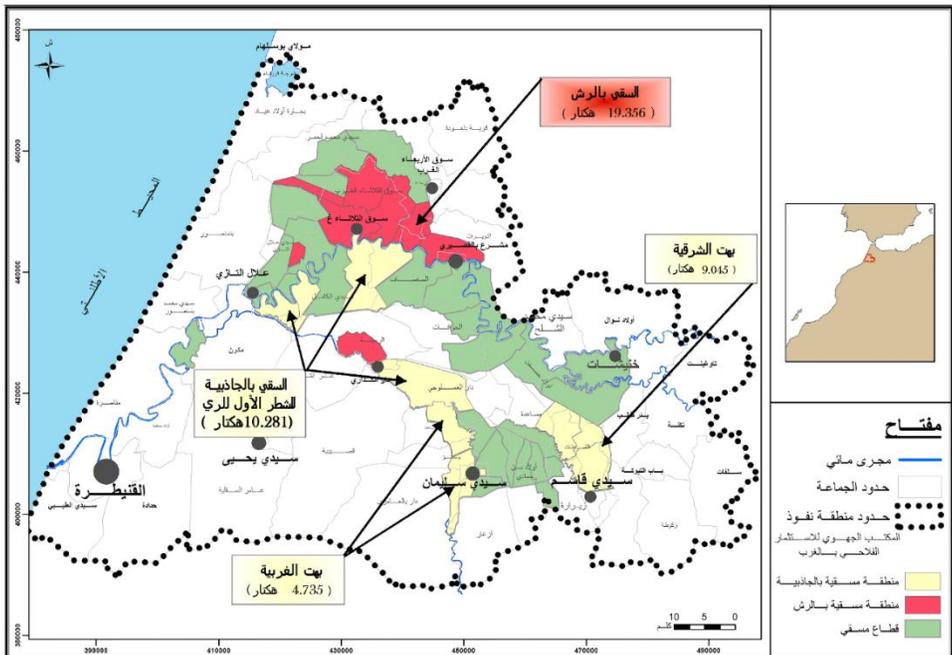
المساحة بالهكتار	نمط التحويل	المناطق
43200	التحويل الجماعي السقي بالرش (P7 .C3 .C2 .N1 .N5) (BEHT EST ET OUEST .PTI)	السقي الكبير
23400	التحويل الفردي	
66600	المجموع	
15100	التحويل الفردي	خارج قطاعات السقي
81700	المجموع	

المصدر: المكتب الجهوي للاستثمار الفلاحي للغرب الفتيطرة، 2015

خريطة رقم 1: توزيع الأراضي السقوية داخل سهل الغرب بالهكتار



خريطة رقم 2: تقنيات سقي الأراضي داخل سهل الغرب بالهكتار



يتضح من خلال الجدول أعلاه والخريطتين رقم (1) و(2)، أن الهدف الأساسي لهذه المشاريع القوية ، هو تحويل حوالي 82.817 هكتار إلى نمط السقي الموضوعي،⁷ موزعة على النحو التالي: (التحويل الجماعي: 43.417 هكتار) (24.061 هكتار بالجابية و19.356 هكتار بالرش)، (التحويل الفردي 39.400 هكتار). (انظر الخرائط) وهو الأمر الذي يجسده ويؤكد الجدول الآتي:

جدول رقم 2: البرامج المنجزة لتوسيع المساحات المسقية

2018	2014	
المساحات المبرمجة بالهكتار	المساحات المبرمجة بالهكتار	المشاريع
33378	38000	المنطقة الساحلية
28641	23500	المناطق (E3-E5-Z6)
27100	26300	المنطقة الوسطى
89128	87800	المجموع

المصدر: المكتب الجهوي للاستثمار الفلاحي الغرب القنيطرة، 2018، بتصرف

إن من أبرز النقط التي يمكننا الخروج بها من هذه المشاريع:

للإهتمام الكبير لهذه المشاريع بتوسيع الدائرة السقوية لسهل الغرب التي بلغت 89000 هكتار سنة 2018⁸

تغيير عملية السقي بالرش بالسقي الموضوعي على مساحة تقدر بحوالي 9500 هكتار. (الخريطة 2)

تقوية وصيانة شبكات الري خصوصا في المجالات السقوية الجماعية لضمان خدمات سقوية ذات أبعاد تنموية مستدامة، من خلال إنجاز المشاريع التقنية وصيانة شبكة صرف المياه لحماية الاستثمارات من أخطار الفيضانات على طول 4500 كلم.

⁷ المكتب الجهوي للاستثمار الفلاحي الغرب القنيطرة، 2018.

⁸ المكتب الجهوي للاستثمار الفلاحي الغرب القنيطرة، 2018.

عصرنة الفلاحة السقوية من خلال تطوير السقي الموضوعي الذي يهدف إلى الاقتصاد من مياه السقي، في إطار التدابير الأفقية لمخطط المغرب الأخضر.

الإصلاح المؤسسي للدوائر السقوية بتحديد السقي الكبير من أجل الرفع من تنافسيته وأدائه.

تتمين مياه السقي من خلال تشجيع الشراكة بين القطاع العام والقطاع الخاص من أجل تدبير المجالات السقوية الجماعية.

دعم الإرشاد الزراعي المائي والعمل على الرفع من قدرات الأطر والفلاحين المغاربة.

إنعاش التدبير التشاركي بين مختلف مستعملي الري سيما بمناطق السقي المتوسط والصغير، وذلك من أجل تحمل المسؤولية في تدبير شبكات الري.

وضع استراتيجية متكاملة لتحسين مستوى استخلاص ديون ماء السقي وتعزيز آليات الحكامة داخل المجال السهلي.

قدرت تكاليف التجهيزات المزمع إنجازها حسب هاته المشاريع، التي أنجزت منذ 2012، بحوالي 17,7 مليار درهم⁹.

نستخلص من كل هذا، أن جل المشاريع الموجودة بالمجال السهلي تتطابق مع أهم المبادئ التي تبناها المخطط الأخضر والمتجسدة في المحافظة على الموارد الطبيعية، خصوصا الثروة المائية، حيث تمت برمجة مجموعة من البرامج دون الرفع من الحصص المائية، فمثلا سيوفر التغير من نظام السقي الكلاسيكي إلى نظام الري بالتنقيط للسهل حوالي 40% من المياه، أي ما يعادل 2800 متر مكعب من المياه للهكتار الواحد.

كما هدف مخطط المغرب الأخضر إلى الاستفادة من الإمكانيات المتاحة التي يخزنها القطاع الفلاحي، وذلك من خلال بلوغ جملة من الأهداف التي يسعى إلى تحقيقها في أفق 2020:

● رفع حصة القطاع الفلاحي في الناتج الداخلي الخام، من خلال الرفع من القيمة المضافة بحوالي 74 مليار درهم في المتوسط لتصل ما بين 144 مليار درهم و174 مليار درهم.

● إحداث 1500000 فرصة عمل جديدة.

● مضاعفة دخل الفلاحين.

● مضاعفة 3.5 مرة صادرات الحوامض والزيتون والفواكه، وهو الأمر الذي سيمكن من رفع قيمة الصادرات قصد الوصول إلى قيمة 44 مليار درهم).

لذلك فإن مخطط المغرب الأخضر يقوم على دعامتين أساسيتين:

✓ الدعامة الأولى للمخطط: تهدف هذه الدعامة إلى تشجيع الاستثمارات الخاصة، وكذا التسريع من وتيرة التنمية الفلاحية العصرية المنعشة للاقتصاد الوطني.

✓ الدعامة الثانية: تهدف إلى النهوض بالفلاحة التقليدية أو التضامنية، سيما بالمناطق الأكثر هشاشة.

لذا فقد تم إدماج البعد المناخي ضمن مخطط المغرب الأخضر وفق جانبين مترابطين:

○ الجانب الأول: مرتبط بتقييم الهشاشة ووضع سياسة التكيف مع آثار التغيرات المناخية.

○ الجانب الثاني: يتعلق بالتخفيف من تأثير عنصر انبعاث الغازات الدفيئة عن طريق تنفيذ التدابير التي تبهم التنمية المرتبطة بانخفاض الكربون.

إلا أن ما يمكن تسجيله هو أن الدعامة أو الركيزة الثانية في مخطط المغرب الأخضر قد أدمجت المخاطر المناخية بكيفية فعلية من خلال تنوع الأنشطة الفلاحية واتخاذ تدابير مصاحبة كالتأمين عن المخاطر المناخية والتكوين والتكيف الفعلي مع الظواهر المناخية القسوى كالجفاف والفيضانات.

⁹ المكتب الجهوي للاستثمار الفلاحي الغرب القنيطرة، 2018.

كما أن هذه الركيزة الثانية تتوخى التقليل من مساحة زراعة الحبوب بنسبة 20% بحلول 2020، أي أن ما مجموعه مليون هكتار تنتمي إلى جهات لا يتلاءم غطاؤها الترابي مع زراعة الحبوب والتي سيتم تحويلها إلى زراعة الفواكه،¹⁰ وهو الأمر الذي سيساهم في التكيف مع التغير المناخي، وتحسين دخل الفلاحين والتخفيف من تدهور التربة.¹¹

أما فيما يخص مجال التخفيف من آثار التغير المناخي، فقد مكن تطبيق مخطط المغرب الأخضر من الوقوف على فرص تخفيف نسب انبعاثات الغازات الدفيئة، ونستحضر هنا الدراسة التي قامت بها وكالة التنمية الفلاحية 2012، إذ قدر التخفيف من انبعاثات الغازات الدفيئة بـ 179 مليون طن مكافئ كربوني، مقابل 62 مليون طن مكافئ كربوني، ومن شأن هذه الإمكانيات التي تم اعتمادها بمخطط المغرب الأخضر أن توفر تمويلا يتجاوز 65 مليون دولار في السنة.

مشروع حوض سبو وحوض أبي رقرق أو الطريق السيار للماء بالمغرب: هو مشروع يندرج ضمن الأورش الكبرى التي أطلقها ملك المغرب المحمد السادس، ويهدف إلى حل مشكل ندرة المياه بعدد من مدن المملكة. ويهدف هذا المشروع إلى تحقيق جملة من الأهداف:

- نقل وتحويل الفائض المائي من حوض سبو إلى حوض أبي رقرق من أجل ضمان وتأمين الماء الشروب في محور الرباط والدار البيضاء وكذا مراكز المصالح للشرب ومياه السقي.
- تحويل فائض المياه الذي يقدر بما بين 300 إلى 400 مليون متر مكعب.
- التدبير المستدام للموارد المائية.
- حل مشكل ندرة المياه بكل من المدن التي تشرب من سد سيدي محمد بن عبد الله الواقع على نهر أبي رقرق وسد المسيرة الواقع على نهر أم الربيع.

بلغت تكلفة مشروع ربط مياه حوض سبو بحوض أبي رقرق، ما يقارب 6 مليار درهم بحيث تضمن المشروع مضختين ضخمتين و6 كيلو متر من الأنابيب الفولاذية بقطر 3200 مليمتراً وبصبيب 15 لتراً في الثانية. وقد تم إنجاز هذا المشروع بكفاءات وخبرات مغربية، شملت مجموعة مقاولات، STAM ، SNCE ، SOMAGEC .SGTM إضافة إلى مكتب دراسات : (CID) والمختبر العمومي (LPEE) كما تم تكليف المكتب الجهوي للاستثمار الفلاحي للمغرب بمتابعة هذه الأشغال.

10 المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي، 2015، إدماج التغيرات المناخية في السياسات العمومية، تقرير المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي

أكتوبر 2015، ص 42.

¹¹ نفس المصدر، ص 42 و43.



أشغال تحويل

نهاية اشغال تحويل المياه من حوض سبو إلى حوض أبو رقرق
المياه ووضع الانابيب الفولاذية

استنتاج عام:

يتعرض سهل الغرب لجملة من الاكراهات المناخية من قبيل ظهور موجات الحر والجفاف وموجات الصقيع المتكررة والفيضانات التي تعم المنطقة بين الفتنة والأخرى، وهو الامر الذي يعرض الفلاحة المغربية لتحديات طبيعية تستدعي الاعتماد على تدابير جديدة لاسيما على مستوى التجهيزات الهيدرولاجية لتحقيق التأقلم والتكيف مع فترات الجفاف المتكررة وبالاعتماد على تقنيات السقي الموضوعي الأكثر عقلانية وترشيدا كتنقية "نقطة نقطة" وتحويل المياه من أماكن الفائض المائي إلى أماكن الخصاص المائي عوض ضياعها في البحر ونستحضر هنا التجربة المغربية الأولى على الصعيد الإفريقي والعربي مشروع حوض سبو وحوض أبي رقرق أو الطريق السيار المائي بالمغرب .

البيبلوغرافيا

- 1- محمد فتحي،|2022، اثر التغيرات المناخية على الأمن الاجتماعي بسهل الغرب، التقرير الاستراتيجي السنوي بعنوان واقع ومستقبل التغيرات المناخية العالمية، المركز الديمقراطي العربي للدراسات الاستراتيجية والاقتصادية والسياسية.
- 2- محمد فتحي، 2022، اثر التغيرات المناخية على الأمن الاجتماعي بالمغرب :العالم القروي نموذجا، سلسلة دراسات أكاديمية محكمة تصدر عن المركز المتوسطي للدراسات والأبحاث، الجزء 11 فبراير 2022.
- 3- منوغرافية جهة سلا الرباط القنيطرة ، 2020.
- 4- المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي، 2015، إدماج التغيرات المناخية في السياسات العمومية، تقرير المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي أكتوبر 2015.
- 5- ملف المخططات دعامة أساسية للاقتصاد والتنمية، 2011، الاستراتيجية الفلاحية مخطط المغرب الأخضر، مجلة العالية لوزارة الاقتصاد والهاالية/العدد 15 يونيو 2011.
- 6- المكتب الجهوي للاستثمار الفلاحي الغرب القنيطرة، 2018.

Efficacité de l'extrait aqueux de feuilles de *Moringa oleifera* Lamarck sur le tallage du riz en Système de Riziculture Intensive (SRI) : une étude dans la vallée de l'Ouémé, au sud du Bénin

Gbenou Pascal¹, Montcho Hambada Koffi David¹, Adjahossou Sédami Bai², Nevis Romaric David³

¹Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Laboratoire de Sciences Végétales, Horticoles et Forestières, Université Nationale d'Agriculture, BP 43, Kérou, Bénin.

²Département du Génie de l'Environnement Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Bénin. Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LaRBA), Université d'Abomey-Calavi

³Ferme-école S.AIN, BP 21 Adjoboun, Bénin

Résumé

La présente étude vise à évaluer l'efficacité d'un biofertilisant, tel que l'extrait aqueux de *Moringa oleifera*, sur le tallage de la variété de riz IR 841, dans le cadre d'un Système de Riziculture Intensive (SRI). L'objectif est d'accroître la productivité de cette céréale tout en préservant l'environnement, particulièrement important dans un contexte de changement climatique. Pour ce faire, un dispositif expérimental a été mis en place, intégrant des traitements de fertilisation rapide à l'aide de fientes de volaille et d'extrait aqueux des feuilles de *Moringa oleifera*, appliqués à raison de 25 ml par plante. L'essai a été réalisé sur deux blocs de 6 planches de 17 m² chacun. Trois planches de chaque bloc ont été traitées avec le *Moringa* et la fiente de volaille, tandis que les trois autres ont reçu uniquement la fiente de volaille, selon une méthode de randomisation. Après la collecte des données, les logiciels Excel et R ont été utilisés pour le traitement et l'analyse des résultats. Les données obtenues révèlent que la moyenne du nombre de talles sur les planches ayant reçu le traitement au *Moringa oleifera* est significativement supérieure à celle des planches non traitées, avec une différence de 5 talles, observée au seuil de 5%. De plus, les talles traitées se distinguent par leur teinte plus verdoyante par rapport aux témoins. Les conclusions de cette étude suggèrent que l'utilisation du *Moringa oleifera* comme fertilisant constitue une alternative prometteuse pour accroître la productivité de la variété IR 841, particulièrement appréciée par les populations de la zone d'étude. Il est impératif que les autorités étatiques et locales soutiennent les producteurs dans la mise en place de plantations de *Moringa oleifera* ou d'autres plantes non alimentaires, afin de stimuler la productivité rizicole du pays.

Mots clés : Efficacité, *Moringa oleifera*, SRI, Tallage, Biofertilisants, Sud Bénin

Effectiveness of aqueous extract of *Moringa oleifera* Lamarck leaves on rice tillering in the Intensive Rice Cultivation System (IRCS): a study in the Ouémé valley, southern Benin

Abstract

The present study aims to analyse the efficiency of a biofertilizer like the aqueous extract of *Moringa oleifera* on the tillering of the rice variety IR 841 in a System of Rice Intensification (SRI) in order to increase the yield of this cereal while preserving environment in climate change context. So an experimental device was set up with fast fertilization treatments using poultry drop pings and aqueous extract of the leaves of *Moringa oleifera* with a rate of 25 ml per plant. This trial was designed on two blocks of 6 planks of 17 m², three of which received *Moringa* and poultry droppings and the other three received only poultry droppings by the "Randomization Hasard" method. Excel and R software were used for data processing and analysis. The results have shown the average number of tillers of the planks that received the *Moringa oleifera* treatment is higher than those did not receive this treatment with a significant difference of 5 tillers at the 5% threshold. In addition, its thallus are greener than the witnesses. This study suggests that the *Moringa oleifera* can be used as fertilizers it is an alternative to explore to increase the yield of the IR 841 variety most appreciate by the populations of the area study. It is therefore urgent that State and Local authorities help farmers to set up *Moringa oleifera* or other non-food plants to boost rice production in the country.

Key Words: Effect, *Moringa oleifera*, SRI, tillering, Biofertilizers, South of Benin

¹ Corresponding author: gbenoup@gmail.com

INTRODUCTION

Les céréales comme le riz sont prédominantes dans l'alimentation des pays pauvres ou en voie de développement et constitue la plus importante source d'apports caloriques en Afrique occidentale et la troisième pour l'ensemble du continent africain FAO (2018). Il est donc devenu un produit très stratégique et prioritaire pour la sécurité alimentaire en Afrique (Petit, 2011 ; Macaulay et Ramadjita, 2015). Car la consommation de cette céréale augmente plus rapidement que pour tout autre produit de base majeur sur le continent du fait de la croissance démographique importante, de l'urbanisation rapide et de l'évolution des habitudes alimentaires (Seck *et al.*, 2013). Le riz est l'aliment de base de plus de 3,5 milliards d'habitants de la planète, avec une consommation annuelle par personne supérieure à 100 kg dans de nombreux pays d'Asie et certains pays d'Afrique. Dans ces deux régions, le riz est essentiellement une culture de petits agriculteurs, produite sur des exploitations dont la plupart ont une surface comprise entre 0,5 et 3 ha. En Afrique, l'explosion de la demande de riz chez les consommateurs urbains est satisfaite par les importations plutôt que par la production nationale; les importations de riz usiné ont quasiment triplé entre 2000 et 2012 pour atteindre 13,8 millions de tonnes. À elle seule, l'Afrique de l'Ouest absorbe quelque 20 pour cent du riz vendu à l'échelle internationale (FAO, 2016). Ainsi le riz constitue l'élément de base de plus de 3,23 milliards de personnes, soit plus de la moitié de la population mondiale, loin devant le blé 1,55 milliard et le maïs 288 millions (Nguetta *et al.*, 2006 ; FAO, 2011) et assure plus de 80 % de l'alimentation mondiale de cette population (FAO, 2005). Au moment où la Chine et l'Inde produisent plus de 80 % de cette culture, l'Afrique n'en produit que 3 % sur 4,8 % des surfaces de riz cultivées (Mémento de l'agronome, 2014). En effet, la production annuelle du riz (3,2 %) n'est pas en adéquation avec la demande annuelle (5 à 6 %) en riz des populations sur le continent africain (Seck, 2013). Il en est de même pour la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest comme le Bénin qui dispose de nombreux atouts et potentialités agricoles susceptibles de couvrir nos besoins alimentaires locales et de la sous-région. En effet, la basse vallée du Bénin a un fort potentiel agricole où la crue enrichit la plaine inondable en apportant d'importantes quantités de limon (Bénin, 2007). En outre le secteur agricole béninois repose essentiellement sur les cultures de rente, les cultures maraîchères et enfin les cultures vivrières telles que le maïs, le manioc, le sorgho, le mil, l'igname, le niébé, l'arachide et le riz produit en quantité non importante. Face aux contraintes de production de cette céréale, le Programme d'Action du Gouvernement (PAG) du Bénin a opté pour l'aménagement des bas-fonds et de la Basse Vallée pour la production du riz pluviale dans le but de couvrir aisément les besoins alimentaires et nutritionnelles des populations par des pratiques agricoles appropriées. Les différents plans de développement économique et social ont toujours mis en exergue la capacité du Bénin à produire non seulement de quoi satisfaire les besoins de sa consommation en riz maïs aussi et surtout une partie des besoins de ses voisins comme le Nigéria qui constitue un marché potentiel de plus de 250 millions d'habitants (Boutsen et Aertsen, 2013). Toutefois, la disponibilité et l'utilisation effectives des variétés performantes, la faiblesse des espaces aménagées, la pénibilité des opérations post-récoltes (battage, décorticage, etc...), le taux élevé de brisure (30 % en moyenne) et l'indisponibilité d'engrais spécifiques ont longtemps constitué et constituent encore des facteurs limitants de production (MAEP, 2011). Au Bénin le riz est la deuxième céréale après le maïs mais sa production est confrontée à de nombreuses contraintes telles que la baisse de rendement. C'est dans cette optique que la présente étude a été réalisée dans la commune d'Adjohoun, qui constitue l'une des meilleures zones de production du riz dans le Sud du Bénin en vue d'optimiser la production de cette culture. Or la fertilisation en particulier organique joue un rôle essentiel dans l'obtention de rendements élevés en riziculture (Arrauudeau, 1998 ; Biaou *et al.*, 2017). C'est dans ce contexte qu'il a été initié à travers cette étude d'analyser l'efficacité de l'extrait du *Moringa oleifera* comme biofertilisant sur le tallage du riz dans un système de riziculture intensive (SRI).

1. Localisation de la zone d'étude

La commune d'Adjohoun est située au centre du département de l'Ouémé, dans la vallée à 32 km au Nord de Porto-Novo, Capitale du Bénin. Sa superficie totale est d'environ 308 km². Elle est limitée au Sud par la Commune de Dangbo, au Nord par celle de Bonou, à l'Est par la Commune de Sakété et à l'Ouest par les Communes d'Abomey-Calavi et de Zè. Sa population est d'environ 75323 habitants (INSAE, 2013). Les données de cette étude ont été collectées sur le site expérimental de la ferme SAIN à Kakanitchoé situé dans la commune d'Adjohoun. Cette commune est sous l'influence d'un climat tropical humide de type subéquatorial caractérisé par l'alternance de deux saisons de pluies et de deux saisons sèches d'inégales durées. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 23°C la nuit et de 31,5°C le jour (Le barbé *et al.*, 1993). Les précipitations, d'une hauteur moyenne de 1 122 mm en 50 jours par an, sont très espacées, soit 1/7 jours. Le sol est de type ferrallitique à texture sablo-argileux.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de l'extrait de *Moringa oleifera* utilisé comme biofertilisant et de la variété améliorée de riz « IR 841 » avec un cycle semis maturité de 115 à 120 jours est bien adaptée en riziculture de bas fond et irriguée. Le riz est à grain long et parfumé. Elle présente une assez bonne résistance à la sécheresse et une bonne résistance à la verse et tolérante à la pyriculariose (Akakpo, 2011). La plupart des producteurs de riz ont opté pour cette variété compte tenu de ces qualités organoleptiques.

2.2. Matériel de support et préparation du sol

Les opérations d'entretien du site sont : la délimitation, le fauchage, le dessouchage, le ramassage et le labour. Pour l'installation de l'essai, des planches de 17m² ont été confectionnées. Des outils comme le pulvérisateur pour le traitement des plants ; un mortier pour le pillage des feuilles de *Moringa*, des bidons d'un litre (1 L) pour servir à mesurer l'eau, la fiente de volaille et feuilles de *Moringa* pour le fumage des planches, une règle graduée pour la mesure de la hauteur des plants, une balance électronique pour peser le poids des riz récoltés ont été utilisés (Photo 1 et 2).



Photo 1 : Pilât des feuilles de *Moringa*

Source : Gbénuo ,2020



2: Filtrat des feuilles de *Moringa* obtenu

2.3 Méthodologie

2.3.1 Implantation et suivi de l'essai

L'essai est installé sur 12 planches de 17m² répartie en 2 blocs. Chaque bloc est constitué de six planches. Trois planches ont été sélectionnées au hasard par la méthode de "Randomization hasard" dans chaque bloc pour être pulvérisée par l'extrait aqueux obtenu à partir des feuilles de *Moringa oleifera*. Ainsi dans chaque Bloc, trois planches ont reçu du *Moringa* additionné de fiente de volaille et les trois autres ont uniquement reçu de fiente de volaille. Dans le Bloc 1, les planches P2, P3 et P6 ont reçu du *Moringa* et de la fiente tandis que dans le Bloc 2, les planches P1, P3 et P4 sont celles ayant reçu de *Moringa* et de la fiente. La préparation des semences pour la pépinière a été faite en trois étapes à savoir : l'incubation qui a duré 24h, le séchage à l'ombre pendant 24h et enfin la pépinière proprement dite. Le repiquage a été fait à raison de un (01) plant par poquet avec un écartement 25cm x 25cm (selon le SRI). Une semaine après l'installation de l'essai, un apport de fumure de fond (fiente de volaille) a été appliqué suivi du remplacement des plants morts. Trois sarco-binages sont faits avec un écart de 4 semaines et le premier a eu lieu le 23 juin 2020 suivi du traitement des plants avec l'extrait aqueux des feuilles de *Moringa oleifera* à raison de 25ml par plant. Dix (10) kg de matière fraîche ont été utilisées pour 1 l d'eau. Ce traitement a eu lieu tous les 20 jours jusqu' à la fin de tallage. L'arrosage est effectué régulièrement surtout au cours des mois de juillet et Août. Ces mois ont été marqués par une période sèche et l'irrigation d'appoint a permis de couvrir les besoins en eau du riz durant cette période. Les paramètres agromorphologiques observés 90 jours après repiquage ont concerné le nombre de talles ; la hauteur des plants. Le

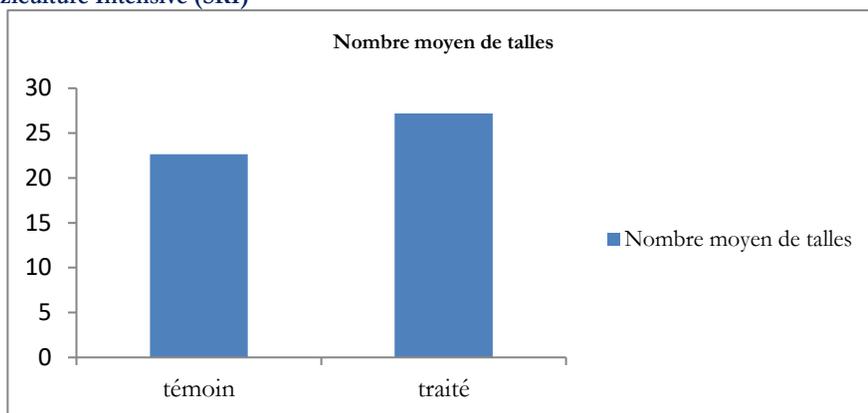
comptage des nombres de talles et la mesure des hauteurs ont été faits diagonalement sur chaque planche et quelques plants ont été choisis sur la ligne des bordures à cause des « effets de bordures ».

✓ 2.2.2 Analyse et traitement des données

Les données relevées sur les différents paramètres comme le nombre de talles des plants, la hauteur et le rendement du riz ont été analysées à l'aide des logiciels R et Excel dont notamment l'analyse de variances et la méthode de comparaison des moyennes par paire où la différence entre les données est marquée par les lettres suivantes : a, ab, ac, b, ou c selon SNK.

3. Résultats

3.1. Effet de l'extrait de *Moringa oleifera* sur le tallage et la hauteur du riz dans un Système de Riziculture Intensive (SRI)



Le nombre moyen de talles chez les plantes ayant reçu l'extrait aqueux des feuilles de *Moringa oleifera* est de 27,20 contre 22,63 pour le témoin. Ce traitement a approximativement provoqué une différence de 4,57 sensiblement égale à 5 talles soit un taux d'accroissement de 16 % (Figure 1). Figure 1 : Effet de l'extrait de *Moringa oleifera* sur le tallage des plants de riz en SRI

La hauteur moyenne du riz dans le Système de Riziculture Intensive (SRI) pour les plants ayant reçu le filtrat de *Moringa oleifera* est de 1,14m tandis que celle des planches n'ayant pas reçu est de 1,05m. Cette hauteur a augmenté de 9cm.

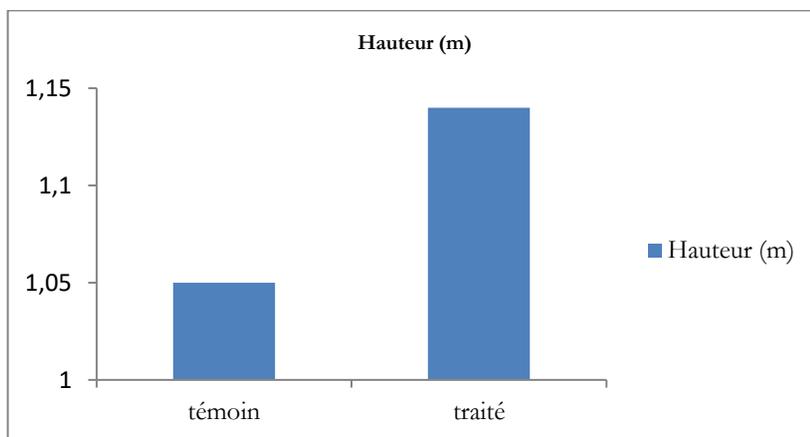


Figure 2 : Effet du filtrat de *Moringa oleifera* sur la hauteur des plants de riz en SRI

Les comparaisons par paire du nombre de talles et de la hauteur des plants de riz traité avec l'extrait aqueux des feuilles de *Moringa oleifera* ont montré dans l'ensemble une différence significative au seuil de 5 % par rapport

aux témoins (Tableau 1). Cet extrait aqueux des feuilles de *Moringa oleifera* a eu un effet positif surtout sur le tallage des plants mais aussi sur la hauteur des plants.

Tableau 1 : Comparaison par paire du nombre de talles et la hauteur des plants de riz traités et non traités du bloc 1 et du bloc 2

Bloc 1	Tallage	Hauteur	Bloc 2	Tallage	Hauteur
Planche 1	23,73 ± 5,23 ab	1,15 ± 0,29 b	Planche 1	23,29 ± 6,40 a	1,14 ± 0,25 ac
Planche 2	22,50 ± 7,52 ab	1,04 ± 0,19 ab	Planche 2	22,86 ± 6,38 a	1,08 ± 0,25 ac
Planche 3	24,70 ± 6,40 ab	1,13 ± 0,20 ab	Planche 3	23,08 ± 6,66 a	1,17 ± 0,26 c
Planche 4	22,67 ± 5,72 ab	1,03 ± 0,18 a	Planche 4	23,05 ± 6,29 a	1,16 ± 0,21 bc
Planche 5	22,35 ± 5,41 a	1,08 ± 0,21 ab	Planche 5	20,71 ± 4,76 a	1,04 ± 0,19 a
Planche 6	25,11 ± 6,96 b	1,07 ± 0,19 ab	Planche 6	21,92 ± 5,09 a1	1,05 ± 0,19 ab
F	3,164	3,175	F	1,99	4,3
P	0,00805	0,00788	P	0,079	0,000793

Source : Expérimentation, 2020

Dans les colonnes, les moyennes suivies de différentes lettres sont significativement différentes au seuil de 5 % ($P < 0,05$). En revanche l'analyse isolée du bloc 2 montre qu'il n'y a pas de différence significative ($P = 0,079$) pour le nombre de talles (Tableau 1). Il est à remarquer que les planches ayant reçu le filtrat de *Moringa* sont plus verdoyantes que celles ne l'ayant pas reçu (photos 4 et 5). Le filtrat semble renforcer les synthèses chlorophylliennes pour une meilleure productivité.



Photo 4 : Planche n'ayant pas reçu du *Moringa* Gbénou, 2020



Photo 5 : Planche ayant reçu du *Moringa* Gbénou, 2020

3.2. Effet de l'extrait de *Moringa oleifera* sur le rendement du riz dans un Système de Riziculture Intensive (SRI)

Les rendements des plants de riz ayant reçu l'extrait de *Moringa oleifera* sont effectivement plus élevés que ceux n'ayant pas reçu (Tableau 2). Ce tableau indique l'effet de l'extrait de *Moringa oleifera* sur le rendement du riz.

Tableau 2 : Effet de l'extrait de *Moringa oleifera* sur le rendement du riz

Planches	Rendements
Planches 1	218,135 ± 105,88 c
Planche 2	237,85 ± 82,87b
Planche 3	256,52 ± 127,47b
Planche 4	100,76 ± 34,9 a
Planche 5	136,3 ± 66,19 a
Planche 6	162,83 ± 82,5 bc
F	20,3
P	<0,0001

Source : Expérimentation, 2020

Les rendements varient de 101 à 257 g avec une moyenne de 190 g

DISCUSSIONS

En Afrique, la riziculture est caractérisée par une faible productivité (Ouedraogo et Dakouo, 2017). Au Bénin pour faire face à cette faible productivité, le SRI a été promu par le Conseil de Concertation des Riziculteurs du Bénin dans 8 communes au Sud du pays : Zangnanado, Covè et Ouinhi (Zou), Bonou, Adja-Ouèrè, Dangbo, Adjohoun (Ouémé-Plateau). C'est une méthode agro-écologique et intelligente face au climat qui permet aux agriculteurs de produire plus de céréales comme le riz en utilisant moins des semences et d'eau, et moins d'intrants achetés (Gbénou, 2013 ; Styger & Jenkins, 2014). Le SRI optimise le fort pouvoir de tallage du riz en créant des conditions favorables avec très peu de semences (1 plant par poquet par repiquage), d'eau (immersion non permanente) et d'engrais chimique. Il nécessite cependant un enrichissement organique du sol et un entretien (désherbage pour réduire les compétitions avec les mauvaises herbes) permettant un bon développement végétatif. Différentes stratégies sont de plus en plus adoptées en Afrique de l'Ouest en vue d'améliorer la productivité rizicole. Selon la FAO (2017), les pays de l'Afrique de l'Ouest ont produit entre 2012 et 2015, environ la moitié de la production du riz paddy sur le continent africain. Ce qui dénote de la place de cette céréale dans les régimes alimentaires de ces pays. Pour augmenter la production rizicole dans cette sous-région, il sera nécessaire de mettre l'accent sur le type de système de production comme le SRI (Gbénou *et al.*, 2016) suivant les conditions agroécologiques et les types d'engrais à utiliser pour une agriculture productive et durable (Petit, 2011). Or la supériorité des engrais organiques est à la fois quantitative et qualitative de sorte qu'une unité fertilisante d'engrais organique agit mieux que la même unité d'engrais minéral (Soltner, 1981 cité par Adjahossou, 2005). Ainsi pour préserver l'environnement des engrais verts comme des extraits de feuilles de *Moringa* peuvent être utilisés en vue d'améliorer la structure du sol pour une croissance optimale des plants (van Schöll, 2005). Les feuilles de *Moringa* contiennent des facteurs de croissance tels que les hormones du type cytokinine obtenus après extraction à l'alcool à 80 % (Sekone, 2006). La cytokinine étant une hormone responsable du développement de la partie feuillée de la plante. L'extrait s'obtient soit par pressage, soit à l'aide d'un ultra-turrax avec filtration de 20 g de feuilles tendres dans un volume total de 675 ml d'éthanol aqueux à 80 % (Makkar et Becker, 1996). Cet extrait peut accroître la croissance de jeunes plants dont les feuilles en sont aspergées. Ils sont plus robustes, verdoyants et résistants aux maladies (Sekone 2006). La couleur verte peut être due à la forte teneur du magnésium dans l'extraction du *Moringa* qui est nécessaire à la photosynthèse. Pour les céréales comme le riz, la carence se manifeste par des bandes jaunes dans le sens de la longueur des feuilles (van Shöll, 2005). L'aspersion des feuilles de riz avec l'extrait de *Moringa* produit des effets significatifs : croissance plus vigoureuse sur un cycle de vie plus long ; racines, tiges et feuilles plus robustes, fruits plus gros, teneur plus élevée en sucres, etc. L'utilisation de cet extrait permet d'augmenter globalement les rendements de 20 à 35 % des cultures comme oignons, poivrons, soja, maïs, sorgho, café, thé, piment fort, melon, riz etc... (Fuglie, 2000; Foidl *et al.*, 2001). Par exemple cette phytohormone a permis d'augmenter de doubler le rendement du maïs de 60 sacs à 130 sacs par hectare. En effet l'hormone de croissance la zéatine appartient au groupe des cytokinines contenues dans les feuilles de *Moringa* jouent un important rôle dans la cytotocinèse. Les feuilles de *Moringa* sont riches en calcium, en magnésium, en soufre, en azote, en phosphore, en potassium

(Malo, 2014). Or le riz est exigeant en tous ces éléments. En l'occurrence les besoins en azote sont particulièrement importants au tallage et à l'initiation paniculaire. Le phosphore et le potassium sont absorbés jusqu'à la floraison. Le potassium est absorbé à un rythme régulier jusqu'à la floraison. Quant au potassium, il est absorbé en grande partie après la montaison, et plus de 80 % du potassium absorbé est stocké dans les pailles (Mémento de l'agronome, 2014). Ces feuilles sont également constituées de composés bioactifs antifongiques, anti parasitaires, herbicides, insectifuges et de défenses naturelles mais aussi antioxydants, bactéricides, phytoprotecteurs (Fuglie, 2000).

CONCLUSION

Les résultats de la présente étude expérimentale mettent en évidence l'impact positif de l'extrait de *Moringa oleifera* sur la production de la variété de riz IR 841. Cette extraction se révèle capable d'accroître significativement le nombre de talles chez les plants de riz, notamment dans le cadre d'un Système de Riziculture Intensive (SRI), représentant ainsi une innovation prometteuse dans le domaine agricole.

Les conclusions de notre recherche démontrent que l'utilisation du *Moringa oleifera* en tant qu'engrais pour favoriser la croissance des talles du riz se présente comme une alternative viable pour une agriculture productive et durable, tout en restant économique. Pour faciliter l'adoption de cette technologie par les exploitants agricoles, il est nécessaire que des entités étatiques ou privées s'investissent dans la fabrication d'engrais verts à base de *Moringa*, avec une durée de conservation étendue.

Il devient impératif que la commune s'engage dans une production substantielle de *Moringa oleifera*, à la fois pour les besoins alimentaires et pour la fertilisation des champs de riz. Ainsi, cette technologie devrait rapidement trouver sa place, assurant non seulement la croissance et l'augmentation des talles chez les plants de riz, mais également au sein d'autres cultures. Il est également crucial de promouvoir largement cette technologie auprès des producteurs de riz au Bénin, tout en continuant la recherche de biofertilisants non alimentaires présentant des caractéristiques similaires à celles du *Moringa oleifera*.

Références bibliographiques

1. Adegbola P.Y. et Singbo A. G, 2005. Impact de l'importation du riz sur la compétitivité et la rentabilité de la production nationale au Bénin. Communication à l'atelier régional de l'ADRAO sur le thème : Politique et stratégies pour la promotion de la production rizicole et la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne, 12 pages.
2. Adjahossou B.S., 2005. *Biodiversité végétale, facteur de productivité et de durabilité de l'agriculture : Cas du Département de l'Atlantique au Bénin*. Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, 232 pages.
3. ADRAO, 2009. Sélection variétale participative du riz : manuel du technicien. 118pages.
4. Akakpo D. A. R., 2011. *Caractérisation agromorphologique des écotypes de riz (Oryza spp) du Bénin*. Mémoire on line Faculté des Sciences Agronomique – Université d'Abomey-Calavi, + 40 pages.
5. Arraudeau M., 1998. Le riz irrigué. Agence de Coopération Culturelle et Technique (ACCT), Centre technique de Coopération agricole et rurale (CTA) ? Editions Maisonneuve et Larose), 322 pages.
6. Atchade GA., Vissin EW, Gbenou P., Chabi BIH, Lavinon SRF., 2017. Cultures de contre-saison dans la commune d'Adjohoun au Bénin : entre atouts et contraintes. *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, Numéro 2 - Juin 2017, 172-184pages.
7. Bénin, 2007. *Analyse diagnostique et prospective de la filière riz dans la vallée de l'Ouémé – Bénin*. Série de Documents de Travail N° 130, 48 pages.
8. Biaou O. D. B., Saidou A., Bachabi F-X, Padonou G.E. et Balogoun, 2017. Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de carottes (*Daucus carota L.*) sur sol ferrallitique au sud-Bénin. *International Journal of biological and Chemical Sciences* 11 (5) : 2315-2326.
9. Bilgo A, Subsol S et Bazié P., 2015. Les techniques d'agriculture climato-intelligente : *Diffusion du système de riziculture intensive pour l'amélioration de la production agricole au Sud Bénin*
10. Boutsen S. et Aertsen J., 2013. *Peut-on nourrir l'Afrique de l'Ouest avec du riz ? www.mo.be*
11. FAO. 2005. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2005. Le commerce agricole et la pauvreté – le commerce peut-il être au service des pauvres ? Rome.*
12. FAO. 2011. *Produire plus avec moins. Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne*. Rome.
13. FAO. 2014. *Construire une vision commune pour une alimentation et une agriculture durable : Principes et approches*. Rome.

14. FAO, 2016. Produire plus avec moins en pratique. Le maïs, le riz, le blé pour une production céréalière durable.
15. Foild N., Makkar H.P.S. et Becker K. 2001. Potentiel de *Moringa oleifera* en Agriculture et dans l'industrie. Atelier sur : *Potentiel de développement des produits du Moringa*. Dar es Salaam, Tanzanie 20p.
16. Fuglie L. 2000. New uses of *Moringa* studied in Nicaragua: ECHO's Technical Network site-networking global hunger solutions. ECHO. Nicaragua.
17. Gbénou P. 2013. *Evaluation participative du Système de Riziculture Intensive dans la basse vallée de l'Onémé au Bénin*. Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, 213 pages.
18. Gbenou P., Mitchel A-M, Adjahossou B. S. et Noukpo A., 2016. Farmer Evaluations of The System of Rice Intensification (SRI) Compared With Conventional Rice Production In Benin. *European Scientific Journal* 12 (30), 280-296 No.30 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
19. INSAE, 2013. Direction des études démographiques, 85p.
20. Lacharme M. 2001. La fertilisation minérale du riz « Fascicule 6 ». 19p.
21. Macauley H. ; Ramadjita T. 2015. Les cultures céréalières : riz, maïs, millet, sorgho et blé. Document de référence, 37 p.
22. MAEP, 2011. *Plan Stratégique de Relance du Secteur Agricole (PSRSA)*. MAEP, Cotonou; Benin, 107p.
23. Makkar H.P.S et Becker K. 1996. Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. *Animal Feed Science and Technology* (63) ,211-228p.
24. Malo, F. 2014. Effet de la fertilisation sur la croissance et la production de *Moringaoleiferalocal* et *Moringaoleifera* PKM-I dans la Région des Cascades (Burkina Faso). Diplôme de master en production végétale. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Burkina-Faso), 49 p + annexe.
25. Ouedraogo M.et Dakouo D., 2017. Evaluation de l'adoption des variétés de riz NERICA dans l'Ouest du Burkina Faso. *African Journal of Agricultural and Resource Economics* 12 (1) : 1-16
26. Nguetta A.S.P, Lidah J.Y, Ebélébé C.N.M, Guéi R.G, 2006. Sélection de variétés performantes de riz pluvial (*Oryza sp.*) dans la région subéquatoriale du Congo Brazzaville. *Afrique Science*, 02 (3) : 352 –364
27. Mémento de l'Agronome 2014. Ministère des Affaires étrangères, Centre de coopération internationale (CIRAD), Groupe de recherche et d'échanges technologiques (GRE'T). Editions Quae, 1691p.
28. Petit M., 2011. *Pour une agriculture mondiale productive et durable*, Editions Quae, Versailles, 112 p.
29. SAED, JICA, ISRA et AfricaRice, 2011. Manuel pratique de riziculture irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal, 117p.
30. Seck P., Touré A., Coulibaly J., Diagne A. and Wopereis M. 2013. Africa's Rice Economy Before and after the 2008 Rice Crisis. Book chapter. In *Realizing Africa's Rice Promise*. Forthcoming, 138p.
31. Sekone L. P. 2006. Ethnopharmacologie appliquée des plantes médicinales et pharmacopées traditionnelles. Mémoire pour la validation de la formation."Alternative très sérieuse au problème de Santé Publique et de l'eau potable au Burkina Faso "www.google.fr
32. Van Schöll, L. 2005. *Gérer la fertilité du sol*. Série Agrodok N°2. Fondation Agromisa, Wageningen, Pays-Bas, 86 p.
33. Styger E et Jenkins D. 2014. *Manuel Technique sur le SRI en Afrique de l'Ouest*. Tome 2, Cornell University, Ithaca, New York, USA 60p.
34. Zotoglo K et Kouyaté D.2011. *Manuel de formation : Système de Riziculture Intensive (SRI)* IICEM/USAID, Mali, 14p.
35. Gbénou P., Adandonon A., Montcho D., Bodjrènou E. 2021. Influence des doses de bouse de vaches sur la croissance et la production de la grande morelle (*Solanum marcarpon* L.) dans les conditions agroécologiques de Kakanitchoé, commune d'Adjohoun au Bénin. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture* 71-77 pp

2023

Colloque-Formation International



E_{au} - S_{écheresse} - C_{limat}'2023

Ressources en Eau, Sécheresse et Changement Climatique

20 au 25 Novembre 2023 Hammamet (Tunisie)

www.jistee.org

E_{au} - S_{écheresse} - C_{limat}'2023

Pour plus d'informations veuillez contacter
Pr. Noureddine GAALOU,
E-mail: eauclimat@iresa.agrinet.tn
eauclimat@yahoo.com



International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

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



ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688 Open Access
08 Volumes, 27 Numéros, (404 Articles) et 1 Livre
08 Volumes, 27 Issues, (404 Papers) and 1 Book

www.iistee.org

iistee@iresa.agrinet.tn / iistee@yahoo.com

VOLUME (VIII) : 4 Numéros (27 Articles) / 4 Issues (27Papers)

Eau-Sécheresse-Climat'2023 / Water-- Drought -Climate'2023

Numéro 1 – Mars 2022 (6 Articles) Pénurie d'eau, hausse des températures... Face au changement climatique, de la lutte à l'adaptation ??

Numéro 2 – Décembre 2023 (11 Articles) Eau-Sécheresse-Climat'2023 Gestion intégrée des ressources en eau

Numéro 3 – Décembre 2023 (6 Articles) Eau-Sécheresse-Climat'2023 Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture

Numéro 4 – Décembre 2023 (7 Articles) Eau-Sécheresse-Climat'2023 Changement climatique et adaptation

VOLUME (VII) : 4 Numéros (32 Articles) / 4 Issues (31. Papers)

Eau-Santé-Climat'2022 / Water-- Health -Climate'2022

Numéro 1 – Mars 2022 (7 Articles) Changement Climatique : Quels effets sur notre santé ? / *Climate change : What effects on our health ?*

Numéro 2 – Juin 2022 (10 Articles) Impacts du Changement Climatique sur l'Eau, les Ecosystèmes et la Santé Humaine / *Impacts of Climate Change on Water, Ecosystems and Human Health*

Numéro 3 – Septembre 2022 (7 Articles) Eau, Climat, Santé, Inégalités : Quelles Solutions / *Water, Climate, Health, Disparities: Solutions*

Numéro 4 – Décembre 2022 (8 Articles) Changements climatiques Santé : Qualité de l'eau et accessibilité / *Changements climatiques Santé : Qualité de l'eau et accessibilité*

VOLUME (VI) : 4 Numéros (31 Articles) / 4 Issues (31Papers)

Eau-Agriculture-Climat'2021 / Water--Agriculture-Climate'2021

Numéro 1 – Avril 2021 (11 Articles) Face aux enjeux climatiques et alimentaires : Réinventer les relations Eau-Agriculture-Climat / *Faced with climate and food issues : Reinventing Water-Agriculture-Climate relations*

Numéro 2 – Juin 2021 (6 Articles) Changement climatique, eau, agriculture - Quelles trajectoires ? / *Climate Change, Water, Agriculture - What trajectories ?*

Numéro 3 – September 2021 (6 Articles) Changement Climatique, Eau et Agriculture Vers des Systèmes Résilients / *Climate Change, Water and Agriculture Towards Resilient Systems*

Numéro 4 – Décembre 2021(8 Articles) Changement Climatique, Eau et Agriculture : Quelles Stratégies ? / *Climate Change, Water and Agriculture : What Strategies ?*

VOLUME (V) 2 Numéros (27 Articles) / 2 Issues (27 Papers)

Eau-Climat'2020 (EC-2020) / Water-Climate'2020 (EC-2020)

Numéro 1 – Septembre 2020 (14 Articles) Ressources en Eaux et Changements Climatiques / *Water Resources and Climate Change.*

Numéro 2 – Décembre 2020 (13 Articles) Gestion Intégrée des Ressources en Eau et Changement Climatique / *Integrated Water Resources Management and Climate Change*

VOLUME (IV) : 2 Numéros (68 Articles) / 2 Issues (68 Papers)

Eau-Énergie-Climat'2019 (2EC-2019) /Water-Energy-Climate'2019 (E'C-2019)

Numéro 1 – Décembre 2019 (56 Articles) Gestion Intégrée des Ressources en Eaux / *Integrated Water Resources Management*

Numéro 2 – Décembre 2019 (12 Articles) Énergies Renouvelables Et changements climatiques / *Renewable Energies and climate change*

VOLUME (III) : 3 Numéros (103 Articles) / 3 Issues (103 Papers)

Eau-Environnement-Climat'2018 (E'C-2018) /Water-Environnement-Climate'2018

Numéro 1 – Avril 2018 (62 Articles) Gestion des Ressources en Eau / *Water Resources Management*

Numéro 2 – Août 2018 (34 Articles) Sciences de l'Environnement / *Environmental Earth Sciences*

VOLUME (II) 5 Numéros (53 Articles) / 5 Issues (53 Papers)

Eau-Société-Climat'2017 (ESC-2017) / Water-Society-Climate'2017 (ESC-2017)

Numéro 1 – Février 2017 (17 Articles) Caractérisation qualitative et quantitative des ressources en eau / *Qualitative and quantitative characterization of water resources.*

Numéro 2 – Avril 2017 (8 Articles) Évaluation des ressources en eau sous les pressions de l'humanité et des changements climatiques / *Assessment of water resources under pressure from humanity and climate change*

Numéro 3 – Juin 2017 (9 Articles) Vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques / *Vulnerability of Water Resources to Climate Change.*

Numéro 4 – Août 2017(8 Articles) Modélisation de l'impact des changements anthropiques et climatiques sur les ressources en eau / *Modeling the impact of anthropogenic and climatic changes on water resources*

Numéro 5 – Octobre 2017(11 Articles) Modélisation Numérique en Hydraulique, Hydrologie et Hydrogéologie / *Numerical Modeling in Hydraulics, Hydrology and Hydrogeology*

VOLUME (I) 3 Numéros (36 Articles) / 3 Issues (36 Papers)

Eau-Climat'2014 (EC-2014) /Water-Climate'2014 (EC-2014)

Numéro 1 – Avril 2014 (17 Articles) Ressources en Eaux de Surface en Région Méditerranéenne / *Surface Water Resources in the Mediterranean Region.*

Numéro 2 – Août 2014 (8 Articles) : Ressources en Eaux Souterraines en Région Méditerranéenne / *Ground Water Resources in the Mediterranean Region*

Numéro 3 – Décembre 2014 (11 Articles) Changements Climatiques en Région Méditerranéenne / *Climate Change in the Mediterranean Region*

Copyright © 2023 – Jistee Tous droits réservés

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

©2023 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V (viii), Issue 4 –December 2023 - iistee.org/volume-viii-2023/

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (viii) - Issue 4 - December 2023

Water - **D**rought - **C**limate'2023



Climate Change and Adaptation

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

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