

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (ix) - Issue 4 - December 2024

Water - **A**griculture - **C**limate'2024



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

Eau-Agriculture, Sécurité Alimentaire et Changement climatique

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

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

International Scientific Committee (ISC-WAC'2024)

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

Preface



L'eau est source de vie : elle est partie intégrante de la sécurité alimentaire et de la nutrition et constitue l'élément vital des écosystèmes dont tous les êtres humains sont tributaires. L'eau potable et l'assainissement sont cruciaux pour la nutrition, la santé et la dignité de chacun. Sécuriser l'accès à l'eau peut être particulièrement difficile pour les populations vulnérables et les femmes. L'eau, en quantité et de qualité, est essentielle à la

production agricole, ainsi qu'à la préparation et à la transformation des aliments. L'agriculture irriguée représente 70 pour cent de l'ensemble des prélèvements d'eau dans le monde (eau de surface et eau souterraine).

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

1. L'eau est source de vie. Elle est fondamentale pour la sécurité alimentaire et la nutrition. Elle est l'élément vital des écosystèmes, et notamment des forêts, des lacs et des terres humides, qui conditionne la sécurité alimentaire et la nutrition des générations actuelles et à venir. De qualité et en quantité appropriées elle est indispensable pour la boisson et l'assainissement, la production d'aliments (pêches, cultures et élevage), la transformation et la préparation des aliments. Elle a également son importance pour les secteurs de l'énergie, de l'industrie et d'autres secteurs économiques. Les cours et les plans d'eau sont souvent utilisés comme voies de transport (notamment d'intrants, d'aliments destinés à la consommation humaine et animale). En fin de compte, l'eau favorise la croissance économique et la création de revenus et par conséquent, l'accès économique aux aliments.
2. L'eau potable et l'assainissement sont cruciaux pour la nutrition, la santé et la dignité de chacun. L'absence d'accès à l'eau potable, aux installations sanitaires et aux pratiques d'hygiène compromet l'état nutritionnel en raison des maladies transmises par l'eau et des infections intestinales chroniques. Malgré des progrès significatifs en ce qui concerne l'accès à l'eau potable et à l'assainissement, il y avait encore dans le monde en 2012, selon l'OMS et l'UNICEF, 4 pour cent de la population urbaine et 18 pour cent de la population rurale (mais 47 pour cent de la population rurale en Afrique subsaharienne) qui étaient privés d'accès à une source améliorée d'eau de boisson² et 25 pour cent de la population qui ne bénéficiaient pas d'installations sanitaires améliorées ou collectives.
3. Selon la FAO, en 2009, 311 millions d'hectares étaient équipés pour l'irrigation, 84 pour cent de ceux-ci étant effectivement irrigués, soit 16 pour cent des terres cultivées et 44 pour cent de la production végétale totale. Une irrigation fiable permet également l'accroissement et la stabilisation des revenus et confère une résilience aux moyens d'existence d'un grand nombre de petits exploitants. L'agriculture irriguée est de loin le premier consommateur d'eau dans le monde, puisqu'elle a absorbé au total en 2013† 252 milliards de mètres cubes prélevés dans les eaux de surface et eaux souterraines en 2013, soit 6,5 pour cent des flux des ressources mondiales renouvelables en eau douce et 70 pour cent des prélèvements anthropiques dans le monde, avec des différences sensibles entre les pays: 90 pour cent dans les pays à faible revenu, 43 pour cent dans les pays à revenu élevé.

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

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

Nouredine Gaaloul

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

Founder and Chief Editor International Journal Water Science and Environment Technologies

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

www.ijsstee.org

Preface



W

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

lifefood of ecosystems upon which all humans depend. Safe drinking water and sanitation are fundamental to the nutrition, health and dignity of all. Securing access to water can be particularly challenging for vulnerable populations and women. Water of sufficient quantity and quality is essential for agricultural production and for the

preparation and processing of food. Irrigated agriculture accounts for 70 percent of all surface and ground water withdrawals globally. **Water is central to Food Security and Nutrition (FSN)**

1. *Water is life. Water is essential to food security and nutrition. It is the lifefood of ecosystems, including forests, lakes and wetlands, on which depend the food security and nutrition of present and future generations. Water of appropriate quality and quantity is essential for drinking and sanitation, for food production (fisheries, crops and livestock), food processing, transformation and preparation. Water is also important for the energy, industry and other economic sectors. Water streams and bodies are often key ways for transport (including inputs, food and feed). All in all, water supports economic growth, and income generation, and thus economic access to food.*
2. *Safe drinking water and sanitation are fundamental to the nutrition, health and dignity of all. Lack of access to safe drinking water, sanitation facilities and hygiene practices undermines the nutritional status of people through water-borne diseases and chronic intestinal infections. Despite significant advances in access to drinking water and sanitation, in 2012, according to WHO and UNICEF, globally 4 percent of the urban population and 18 percent of the rural population (but 47 percent of the rural population in Sub-Saharan Africa) still lacked access to an improved drinking water source² and 25 percent of the population lacked access to improved or shared sanitation.*
3. *According to FAO, in 2009, 311 million hectares were equipped with irrigation, 84 percent of those actually being irrigated, corresponding to 16 percent of all cultivated land and contributing to 44 percent of total crop production. Reliable irrigation is also essential to increasing and stabilizing incomes and provides livelihood resilience for a vast number of smallholder farmers. Irrigated agriculture is by far the largest water user globally, totalling 252 billion cubic meters of surface and groundwater withdrawals⁴ in 2013[†], equivalent to 6.5 percent of the global renewable freshwater resources flows, and 70 percent of anthropic withdrawals globally, with significant differences between countries: 90 percent in low income countries, 43 percent in high income countries.*

Managing water scarcities in agriculture and food systems

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

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

09 Volumes, 30 Issues, (426 Papers) and 1 Book



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

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

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

Issue 2 – Octobre 2024 (10 Papers) *Water, Agriculture, Climate Change and Food Security Qualitative and quantitative characterization of water resourcessue*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés



Table of Contents

Ali Nouhou (Université Cheikh Anta Diop, Dakar-Fann, Boulevard Martin Luther King & Corniche Ouest - Sénégal) <i>Lemou Faya, Boukèssi Tchaa, Lare Lalle Yendoukoa</i> , Analyse des conditions climatiques dans le parcours de la mousson du togo à l'ouest du niger	6
Makhoukhi Benamar (Université de Tlemcen – Algérie) <i>Benguella Belkacem</i> Modification de la bentonite par les sels de bisimidazolium et applications à l'adsorption de colorants textiles	18
Benguella Belkacem , (Université de Tlemcen – Algérie) <i>Makhboukhi Benamar</i> . Elimination des polluants chimiques par des argiles Algériennes	17
Gildas Sènamèdé Aizannon (Université de Parakou, Parakou, Bénin) <i>Gildas Hervé Adoté Akueson, Ismail Moumouni-Moussa</i> . L'impact de l'émergence des acteurs privés dans la gestion de l'eau potable au Bénin : Synthèse des connaissances et perspectives de recherche	22
Gildas Sènamèdé Aizannon (Université de Parakou, Parakou, Bénin) <i>Gildas Hervé Adoté Akueson, Ismail Moumouni-Moussa</i> . Caractérisation des dispositifs privés d'Approvisionnement en Eau Potable et conséquences socio-environnementales au Bénin	50
Okkacha Hasnaoui (Université Dr Moulay Tahar- Saida – Algérie) <i>Sid Ahmed Aouadj; Abdelkrim Benaradj; Abdeslam Morsli</i> ; Dynamique des écosystèmes steppiques dans un environnement changeant : Cas de la région de Ain-Skhouna (Wilaya de Saida – Algérie occidentale)	57

www.jistee.org

jistee@iresa.agrinet.tn

jistee@yahoo.com

Analyse des conditions climatiques dans le parcours de la mousson du togo à l'ouest du Niger

Ali Nouhou^{1, *}, Lemou Faya², BoukpeSSI Tchaa², Lare Lalle Yendoukoa²

¹Laboratoire LERTESS, Département de Géographie, FLSH, Université Abdou Moumouni de Niamey -Niger

² Laboratoire LaRBE, Département de Géographie, Université de Lomé – Togo

Résumé

La mousson ouest-africaine est l'élément essentiel du climat de la sous-région. Elle est de plus en plus influencée par des anomalies dans sa durée (arrivée et retrait), dans son humidité ainsi qu'à travers ses précipitations engendrées. Cette étude vise à analyser les particularités des paramètres climatiques de la mousson dans son parcours entre le Togo et le Niger en se basant sur les statistiques de la NASA de 1982 à 2022 et celles des stations météorologiques synoptiques obtenues à l'Agence Nationale de Météorologie du Togo (ANAMET) et à la Direction de la Météorologie du Niger (DMN). Les indices climatiques (précipitations et températures) furent analysés avec Rclimdex. Les tests de Pettitt dans les différentes stations étudiées ainsi que les autres courbes (SPI et tendances des précipitations) ont été réalisés à l'aide de XLSTAT. Les résultats montrent, partout dans les cinq localités, des tendances à la hausse de l'humidité de l'air, des précipitations et des températures. Le test de Pettitt a décelé le changement climatique amorcé à Kantchari ainsi qu'à Dapaong à partir de l'année 2003. Une tendance à la hausse de l'intensité des pluies journalières a été relevée sur la chronique retenue. Cependant cette intensité varie d'une localité à une autre. Ainsi, 60 % des stations présentent une pente supérieure à 0,06. La durée des séquences chaudes a également connu une hausse (TX>90ème) avec des pentes statistiquement significatif (p-value > 90) à l'échelon de toutes les stations sauf au niveau de Kantchari qui affiche une valeur de pente de (-0,093) avec une (p-value) de 0,391.

Mots clés : mousson ouest-africaine, variabilité climatique, Niger, Burkina Faso, Togo

Analysis of climatic conditions along the monsoon trail from togo to western niger

Abstract

The West African monsoon is the essential element of the sub-region's climate. It is increasingly influenced by anomalies in its duration (onset and withdrawal), its humidity and the rainfall it generates. This study aims to analyse the particularities of the monsoon's climatic parameters in its course between Togo and Niger, based on NASA statistics from 1982 to 2022 and those of synoptic weather stations obtained from Togo's National Meteorological Agency (ANAMET) and the Niger Meteorological Department (DMN). Climatic indices (precipitation and temperature trends), were analyzed with Rclimdex. Pettitt tests at the various stations studied, as well as other curves (SPI and rainfall trends), were carried out using XLSTAT. The results show increasing trends in humidity, precipitation and temperature at all five locations. The Pettitt test detected the climate change that began in Kantchari and Dapaong in 2003. An upward trend in the intensity of daily rainfall was observed over the selected period. However, this intensity varies from one locality to another. For example, 60% of stations have a slope greater than 0.06. The duration of warm sequences also increased (TX>90th) with statistically significant slopes (p-value > 90) at all stations except Kantchari, which showed a slope value of (-0.093) with a (p-value) of 0.391.

Keywords: West African monsoon, climate variability, Niger, Burkina Faso, Togo

¹ Corresponding author: nouhougeo@yahoo.de

1. INTRODUCTION

La zone côtière du Togo se situe dans la bande de déficit pluviométrique qu'on observe sur le littoral Ghana-Togo-Bénin [1]. Elle a même souvent servi de repère car elle serait l'un des points les moins arrosés de cette zone littorale. La particularité climatique de cette enclave de relative sécheresse dans le golfe du Bénin reste un sujet auquel plusieurs études se sont intéressées à des échelons divers. En effet, cette partie australe du Togo marquée par l'indigence pluviométrique qui, contraste avec les autres pays situés dans le même espace géographique entre 6 °C et 7 °C de latitude nord domaine du climat subéquatorial est une anomalie, négative [2-3]. A ce contexte d'anomalie climatique négative du littoral togolais, vient s'ajouter le phénomène de dérèglement du climat lié à la dynamique générale de l'atmosphère relevée dans ce couloir de mousson ouest-africain.

Au Sahel, le climat est marqué par une irrégularité spatio-temporelle des précipitations et une permanence de la chaleur. Dans leur étude, T. Lebel et T. Vischel [4] avaient affirmé que la disponibilité de l'eau sur les terres ouest-africaines varie fortement selon les latitudes, le couvert végétal et le bilan hydrologique. Cette dynamique résulte du gradient de pluie sud-nord qui caractérise cette région de ouest-africaine [5]. Dans ces manifestations climatiques, les totaux annuels et intra-saisonniers des pluies connaissent, d'une année à une autre, une forte variabilité avec des répercussions sur le déroulement normal des activités agricoles [6-7-8]. Dans ces contextes, il s'avère important d'étudier la mousson dans son parcours en partant du Golfe de Guinée, c'est-à-dire des côtes togolaises, à travers l'Est du Burkina jusque dans la partie ouest du Niger.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Milieu d'étude

Le milieu étudié en suivant la direction de la mousson s'étend des côtes togolaises, l'Est du Burkina jusque dans la partie ouest du Niger (figure 1).

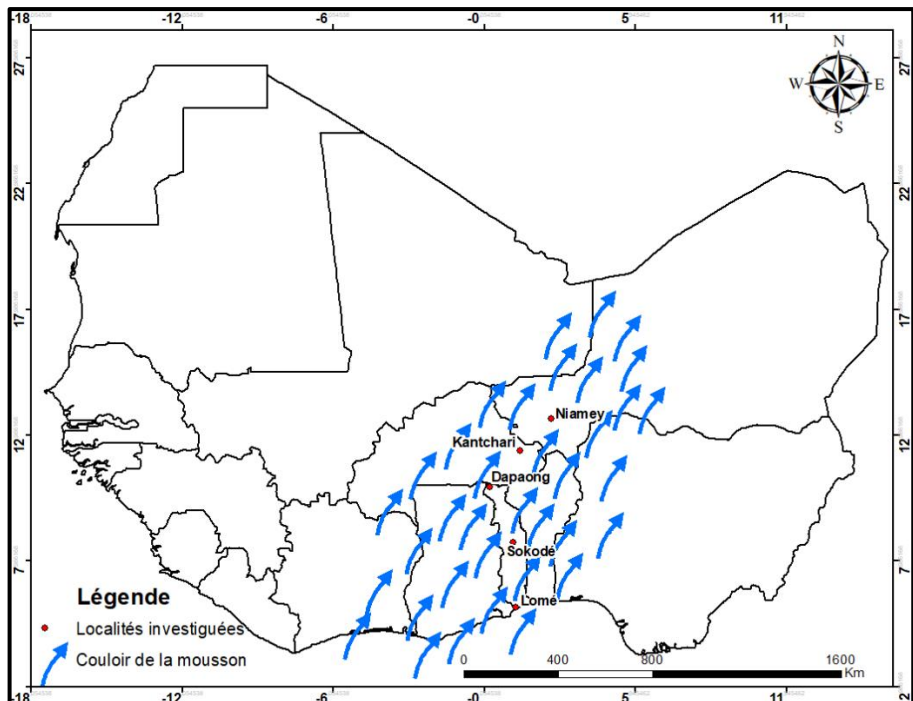


Figure 1 - Situation géographique du secteur d'étude

Source : ESRI-QGIS 3.6 Noosa

D'après cette figure 1, ce milieu se situe globalement entre 5°0'0" et 25°0'0" de latitude nord et 5°0'0" longitude ouest et 5°0'0" longitude est. Le secteur part du Golfe de Guinée à savoir des côtes togolaises à travers l'Est du Burkina-Faso jusque dans la partie ouest du Niger. Il couvre du sud au nord, cinq localités : Lomé, Sokodé, Dapaong, Kantchari et Niamey qui constituent des lieux d'étude. Pour atteindre l'objectif de cette étude, une approche méthodologique a été utilisée.

2.2 Approche méthodologique

Cette étude vise à analyser les particularités des paramètres climatiques de la mousson dans son parcours entre le Togo et le Niger en se basant sur les statistiques de la NASA de 1982 à 2022 et celles des stations météorologiques synoptiques obtenues à l'Agence Nationale de Météorologie du Togo (ANAMET) et de la Direction de la Météorologie du Niger (DMN). Ces données furent collectées sur cinq stations météorologiques dont trois du Togo (Lomé, Sokodé, Dapaong), une du Burkina Faso (Kantchari) et une du Niger (Niamey). Les indices d'extrêmes climatiques (intensité journalière des pluies SDII, durée des séquences sèches et chaudes WSDI,) furent analysés avec Rclimdex. Les tests de Pettitt dans les différentes stations étudiées ainsi que les autres courbes (SPI et tendances des précipitations) ont été réalisées à l'aide de XLSTAT. La carte du milieu d'étude a été réalisée avec ArcGIS.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Résultats

Les statistiques des paramètres climatiques comme les pluies quotidiennes, les températures et l'humidité relatives ont fait l'objet d'une analyse pour montrer la manifestation, des conditions climatiques dans le parcours de la mousson ouest-africaine. La mousson ouest-africaine soufflant sur le Togo, l'Est du Burkina Faso et la partie ouest du Niger engendre la grande partie des précipitations du mois de mars à novembre. La période hivernale entre ces trois pays décroît du sud au nord. Elle est de deux saisons au Togo connues sous les appellations de celle de la grande (avril à juillet) et de la petite (août à novembre). En général, de l'Est du Burkina Faso jusqu'aux environs de Niamey au Niger, la mousson occasionne une seule saison hivernale. Mais ses arrivées et retrait (on- and offset) fluctuent assez [9].

3.1.1 L'humidité de l'air

La figure 2 montre partout dans les cinq villes étudiées des tendances à la hausse de l'humidité de l'air. Les hausses les plus élevées sont observées à Lomé où R² est égale à 0,42 et Kantchari où elle est 0,21.

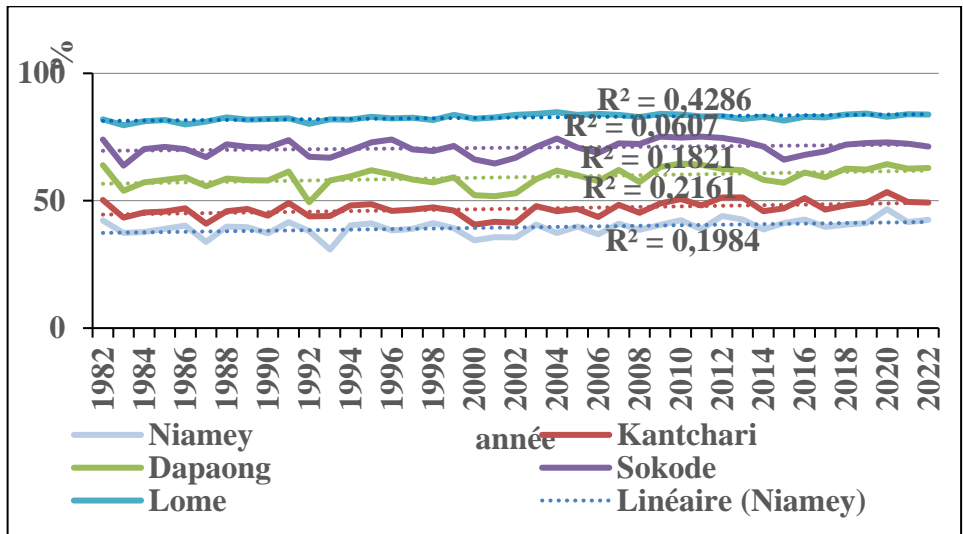
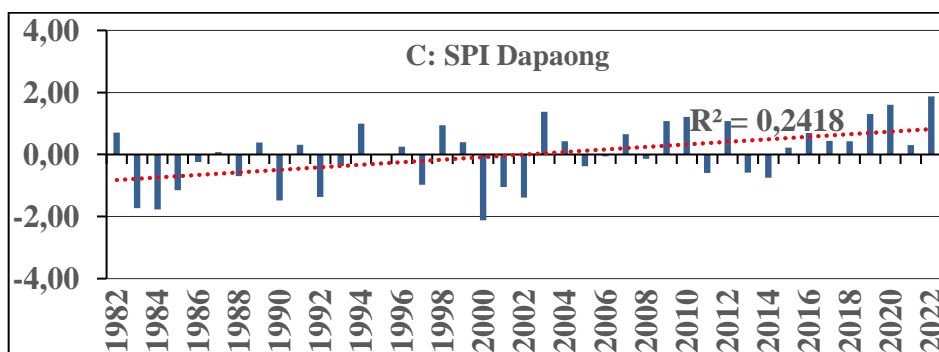
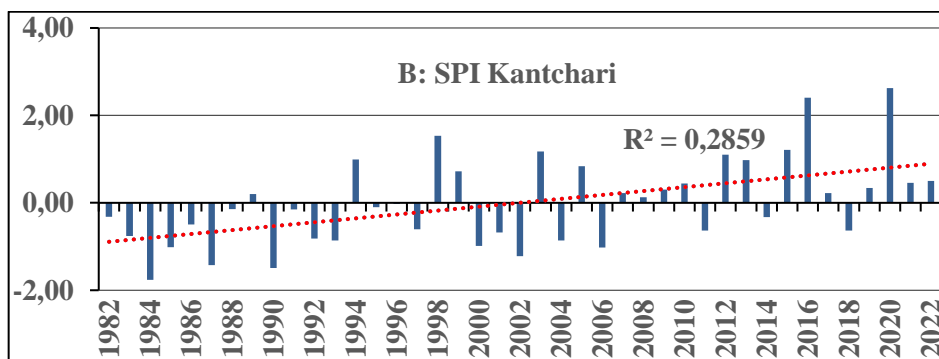
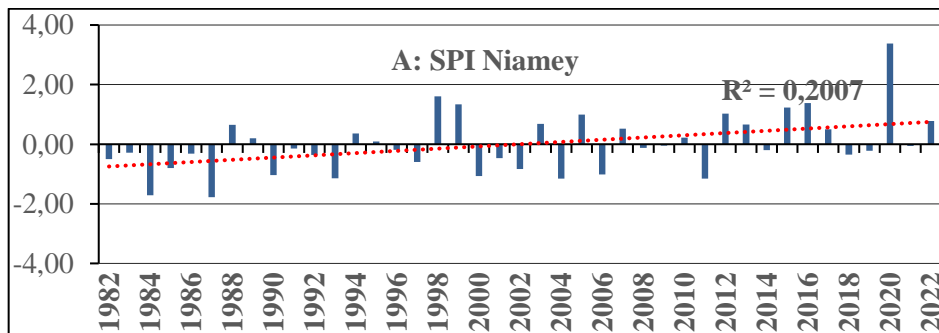


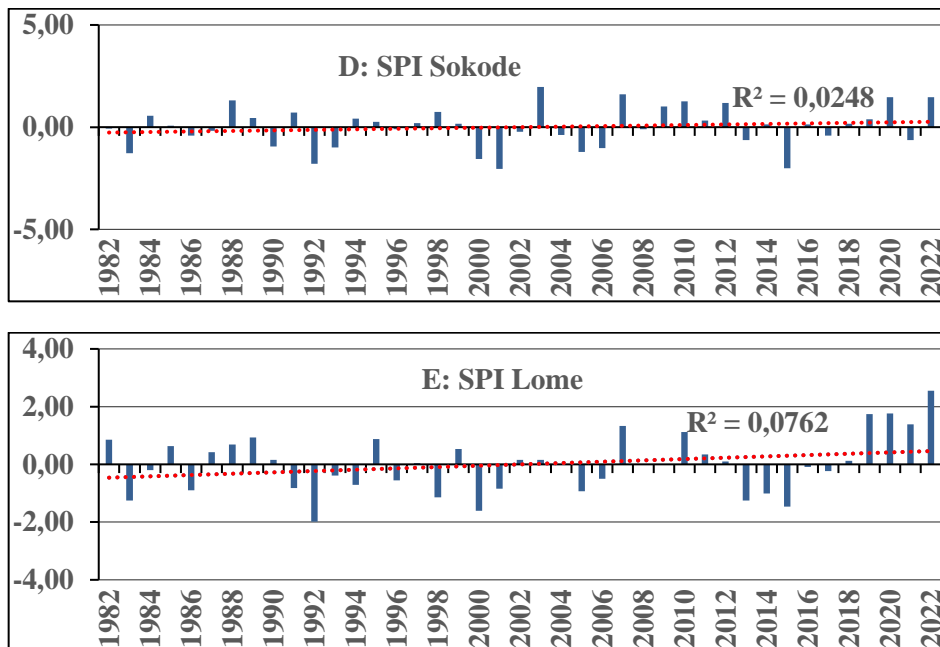
Figure 2- Evolution de l'humidité de l'air et courbes de tendances dans les stations étudiées.

Les moyennes de la série varient entre 39,52 % à Niamey et 82,63 % à Lomé. C'est à Dapaong où la moyenne de l'humidité de l'air est de 59,23 % que la tendance reste la plus faible, R2 étant de 0,18 %.

3.1.2 Les indices standardisés des précipitations (SPI)

Ces tendances à la hausse sont aussi remarquées dans l'évolution des précipitations (figures 3A à E). En effet, le coefficient de détermination est de 0,07 à Lomé, 0,02 à Sokodé, 0,24 à Dapaong, 0,28 à Kantchari et 0,20 à Niamey



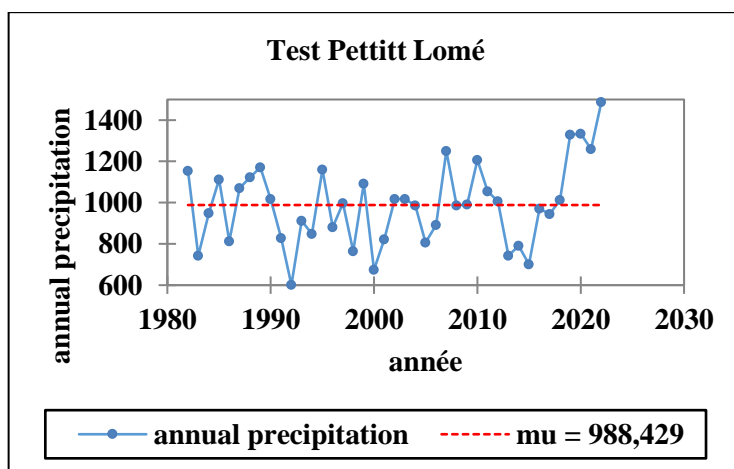


Figures 3A à E - Indices standardisés des précipitations des cinq stations étudiées

A Lomé, Dapaong et Kantchari, une reprise nette des précipitations est en cours depuis les quatre dernières années. A Niamey de même qu'à Sokodé, des fluctuations entre les années déficitaires et excédentaires sont observées (graphiques 3A et 3D). A Sokodé, les années excédentaires consécutives étaient de 2009 à 2012. Celles-ci étaient entre 2015 et 2017 à Niamey. Les séquences sèches ont marqué cette ville surtout dans les années 1980.

3.1.3 Les tests de Pettitt

Pour savoir plus sur les changements intervenus relatifs aux précipitations, des tests d'homogénéité de Pettitt (figure 4) ont été effectués.



Figures 4 - Test d'homogénéité de Pettitt pour la ville de Lomé

Le test d'homogénéité de la ville de Lomé a pris en considération un niveau de signification de 5 % et la p-value a été calculée en utilisant 10000 simulations Monte Carlo. L'intervalle de confiance autour de cette p-value est à 99%, les deux hypothèses étant H_0 si les données sont homogènes, et H_a s'il y a eu une rupture c'est-à-dire une date à partir de laquelle il y a eu un changement. Ce changement peut être positif, dans le cas où la seconde moyenne μ_2 serait supérieure à la première μ_1 . Ceci n'est pas le cas pour cette figure n°4 étant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha = 0,5$. On ne peut donc pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de la rejeter alors qu'elle est vraie est de 18,09%.

L'explication du test en ce qui concerne la ville de Sokodé (figure 5) est presque identique à celle de Lomé avec ses précipitations de la même série chronologique (1980 à 2022) soumises aux mêmes hypothèses.

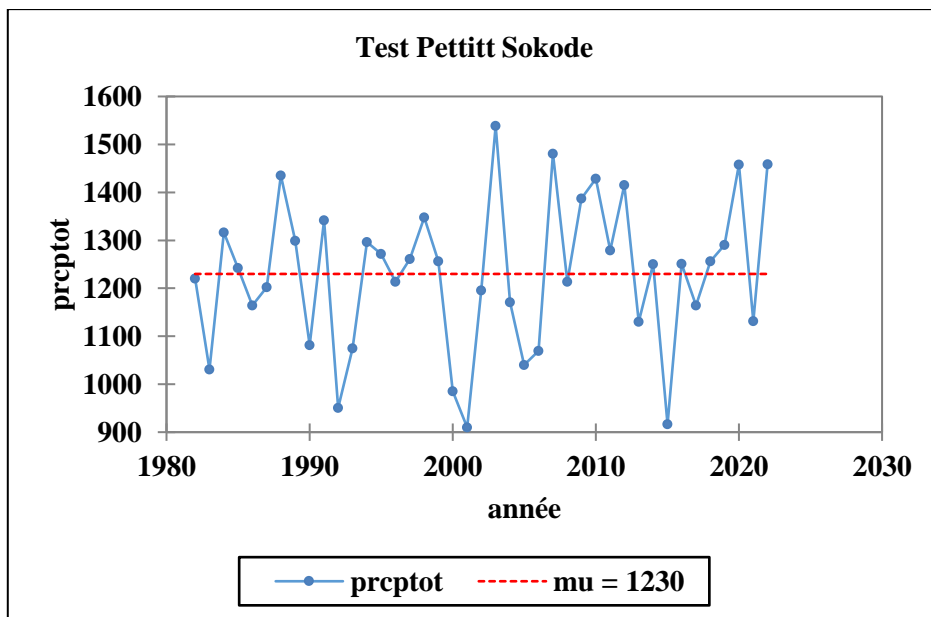


Figure 5 - Test d'homogénéité de Pettitt pour la ville de Sokodé

La figure 5 ne montre pas de rupture au cours de la série chronologique. La moyenne pluviométrique est de 1230 mm avec un écart-type de 156,32 mm. Dans ce cas aussi, la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha = 0,5$. On ne peut donc pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de la rejeter alors qu'elle est vraie est de 42,61 %.

Par contre, l'analyse du test concernant Dapaong (figure 6) distingue clairement la rupture observée à partir de 2003. La moyenne μ_2 (1105 mm) est nettement supérieure à μ_1 (977,25). L'hypothèse nulle H_0 est rejetée et H_a (hypothèse alternative) retenue. Il s'agit d'un changement climatique survenu dans cette région de savane.

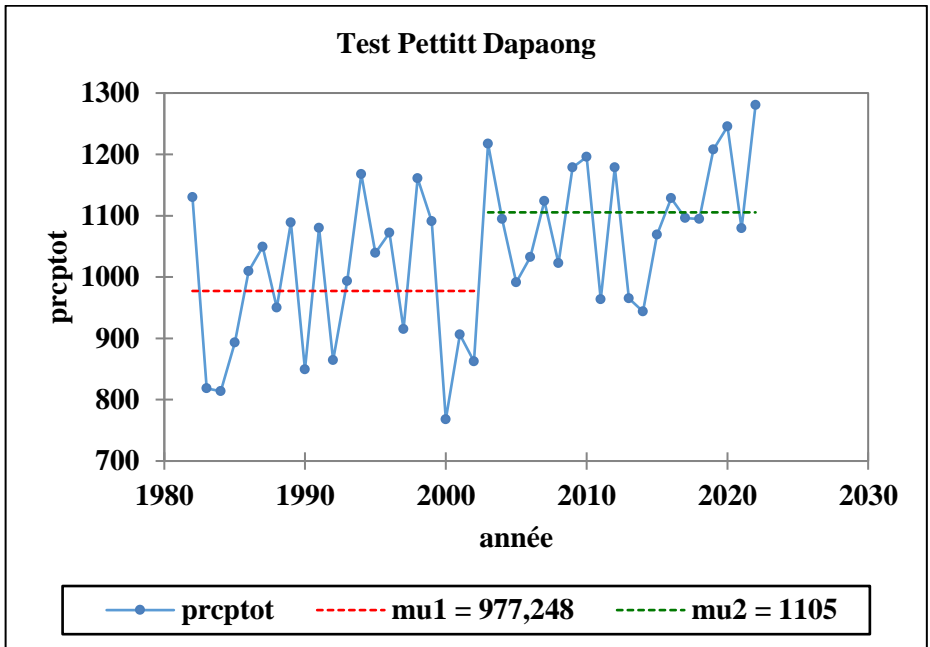


Figure 6 - Test d'homogénéité de Pettitt pour la ville de Dapaong

Un changement climatique identique est observé à Kantchari (figure 7) également à partir de 2003. La rupture de série montre une différence de 100,2 mm entre μ_1 et μ_2 .

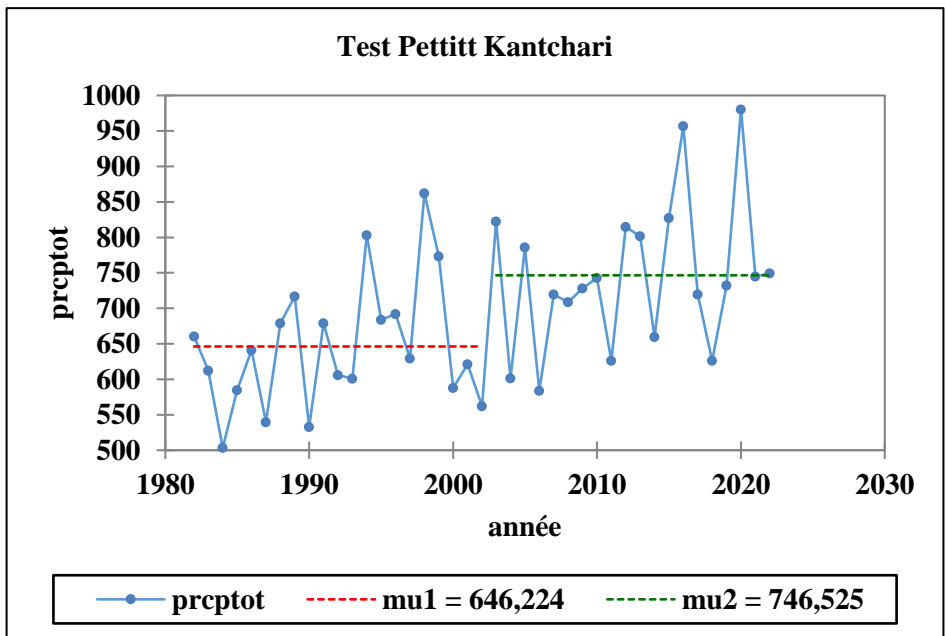


Figure 7 - Test d'homogénéité de Pettitt pour la ville de Kantchari

Pour cette ville, la moyenne pluviométrique est de 695,15 mm avec un écart-type de 108,83 mm. Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est très faible (inférieur à 0,91%). En ce qui concerne ces deux villes en zone de savane, le changement climatique est bien réel, alors qu'à Niamey (figure 8), il n'est pas encore amorcé. Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 n'est que de 5,55%.

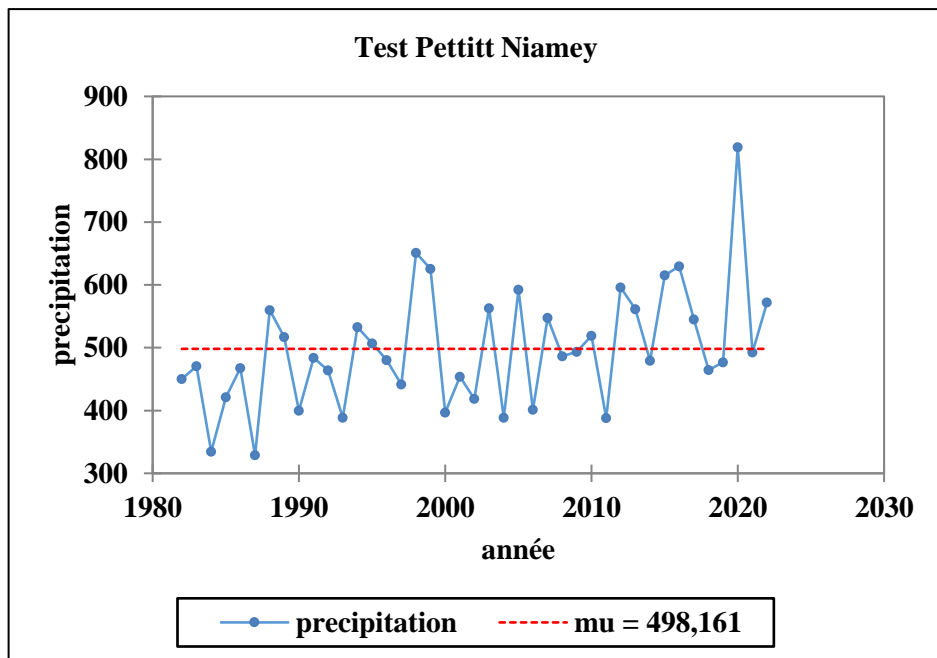


Figure 8 - Test d'homogénéité de Pettitt pour la ville de Niamey

3.1.4 Caractérisation des indices de précipitations et de températures

3.1.4.1 Caractérisation des indices de précipitations et de températures

L'analyse de l'évolution des indices de l'intensité des pluies journalières dans les cinq localités d'études permet de caractériser l'évolution des pluies journalières au cours de la série retenues pour l'étude (figure 9).

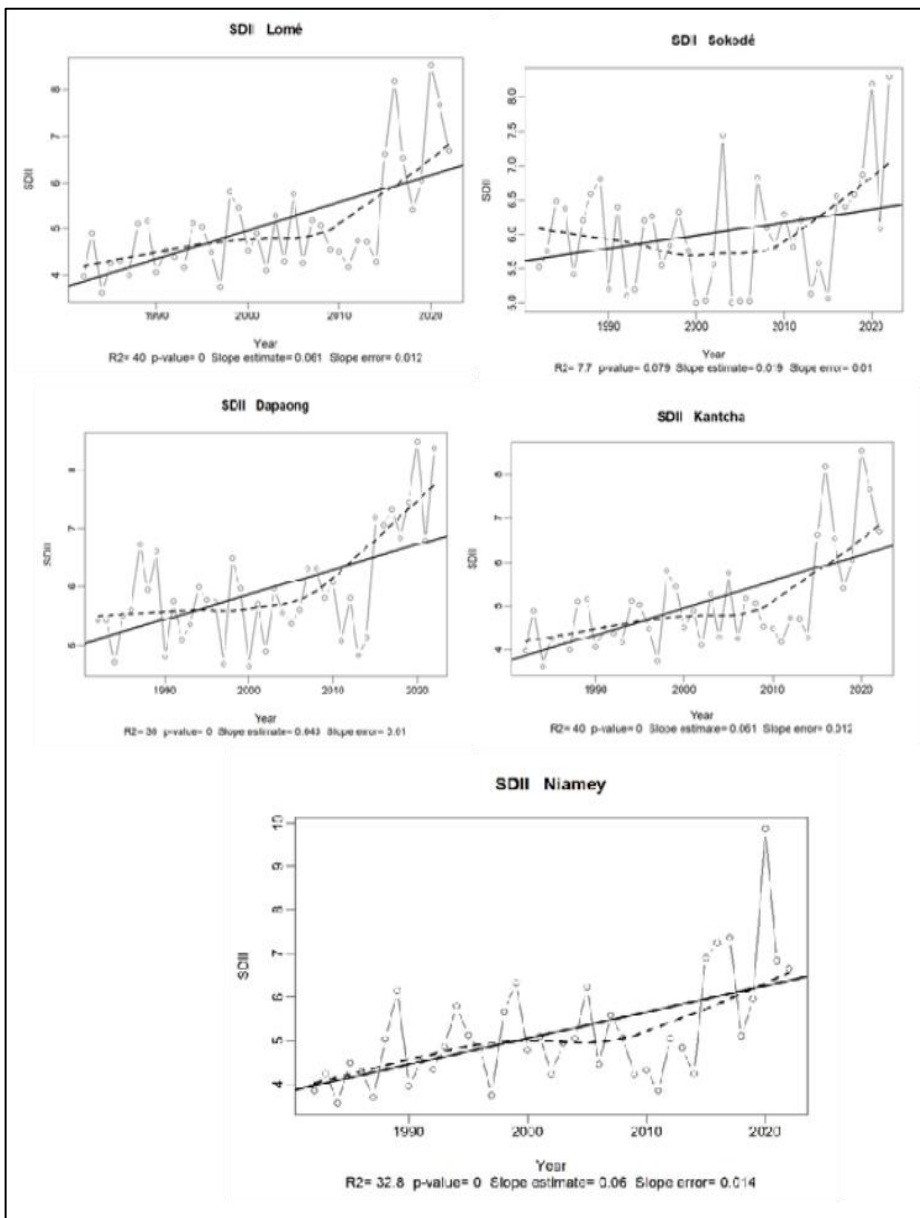


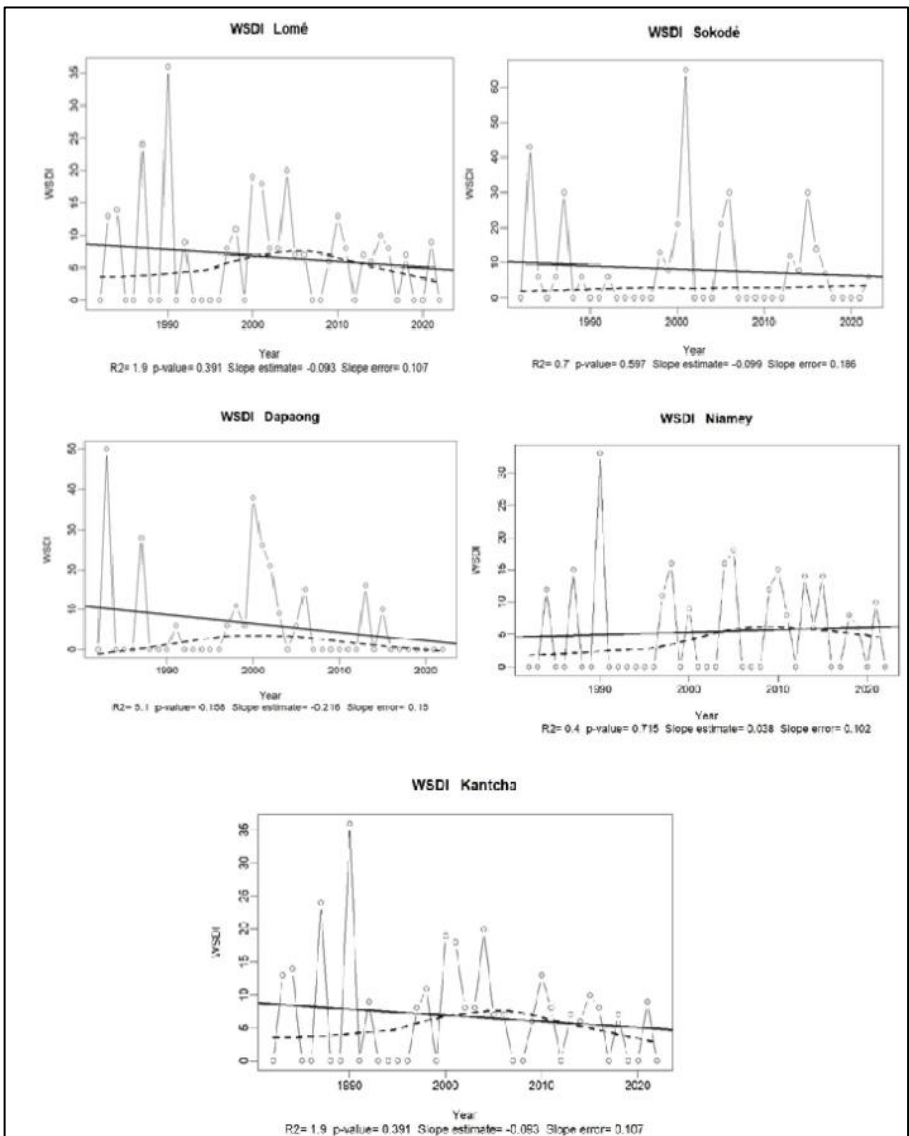
Figure 9 - Indices de l'intensité journalière de pluie (SDII)
 Source : Traitement statistique des données climatiques de 1982-2022

L'analyse de la figure 9 indique une variabilité de l'indice de l'intensité des pluies journalières à l'échelon des stations retenues pour l'étude. Au regard des tendances indiquées par les différents graphiques, on retient que l'intensité des pluies journalières est en augmentation dans toutes les stations sur la période 1982-2022. Cependant, cette intensité varie d'une localité à l'autre. Ainsi, sur l'ensemble des stations météorologiques indiquées, 60 % ont des valeurs des pentes supérieures à 0,06 %. Ces valeurs sont de 0,061 ; 0,061 ; 0,06

respectivement pour les stations de Lomé, de Kantchari et de Niamey. Cette analyse amène à déduire que sur le même couloir, Lomé, Kantchari et Niamey sont des villes plus pluvieuses voire plus humides que Sokodé et Dapaong avec pour pentes successivement de 0,019 et 0,043. Cette situation explique plus ou moins les avènements d'abondances précipitations relevées suivant les années au cours de ces dernières décennies sur l'ensemble de la région ouest-africaine.

3.1.4.2 Evolution de la durée des séquences chaudes

L'évolution de la durée des séquences chaudes dans le couloir de passage de la mousson ouest-africaine est illustrée par la figure 10.



Figures 10 - Evolution de la durée des séquences chaudes (WSDI)
 Source : Traitement statistique des données climatiques de 1982-2022

En somme, à l'exception de la station de Kantchari, une augmentation de la durée des séquences chaudes sur la série chronologique 1982-2022 est observée dans 80 % des localités couvertes par l'étude. Toutes ces ambiances climatiques identifiées, viennent accentuer dans une large mesure, le réchauffement climatique marqué dans ces dernières années et qui, préoccupe aussi bien les pays développés que ceux en développement.

3.2 Discussion

L'analyse de la variabilité climatique dans le couloir de la mousson qui va de la côte du Golfe de Guinée jusqu'au Sahel a été effectuée sur la base des indices climatiques de précipitations et de températures. Les différentes tendances ont été relevées sur la base des méthodes telles que celle de la rupture et de régression linéaire. Ces approches méthodologiques ont été adoptées par Gaspaldy [10]. Par ailleurs, E. Adéwi et V. Dubreuil [11] ont dans leur recherche, utilisé l'approche basée sur la régression linéaire simple pour montrer les tendances climatiques dans la région des Savanes au Togo. Ces auteurs dans leur travail n'ont pas pris en compte, les tendances basées sur les ruptures de stationnarité et des indices de RCLIMDEX.

Les résultats de la présente étude montrent que la variabilité climatique a été significative durant la période retenue pour l'étude à savoir, 1982-2022. Cette fluctuation suite aux traitements et représentations des paramètres climatiques, se traduit par la hausse des précipitations, l'augmentation des températures couplées avec des séquences sèches et humides. Ces manifestations climatiques relevées au cours de ces dernières décennies, s'expliquent par le réchauffement climatique dont l'incidence sur le couplage océan-atmosphère conduit probablement à un accroissement des phénomènes climatiques extrêmes. Cette indication concorde avec les travaux du GIEC [12] qui, prouvent qu'un climat plus chaud conduit très probablement à un accroissement de la fréquence et/ou de l'intensité de certains types d'événements extrêmes.

Pour cette étude, la tendance à la hausse des jours chauds consécutifs ($T_x > 90^{\text{ème}}$) avec une pente statistiquement significative est observée à Lomé, à Sokodé, à Dapaong et à Niamey sauf à Kantchari où sa valeur est de 0,391 avec une pente de valeur égale à -0,093. Ces résultats sont en phase avec ceux de E.W. Vissin [13] qui, a constaté que les températures extrêmes changent dans le bassin béninois du fleuve Niger.

Les tests d'homogénéité effectués ont montré qu'il y a bien eu des changements, c'est-à-dire des ruptures dans les séries des données à Dapaong et Kantchari. Ceci révèle que le changement climatique est plus marquant en zone forestière et de savane qu'aux zones côtières (Lomé et Sokodé) ou sahélienne (Niamey).

Ces résultats confirment le réchauffement global qui entraîne la hausse des températures, les fortes évaporations et l'intensité des pluies, avec la tendance actuelle de l'humidité de la mousson, celle-ci est partout en hausse dans les localités étudiées. Tout de même, dans son parcours de Lomé où elle est chargée à 81% de vapeur d'eau, la mousson souffle en moyenne sur Niamey avec une humidité de 39%, soit une perte de plus de 50%.

Concernant les précipitations, l'étude a révélé que ce n'est pas partout au Sahel les hausses prévues se réalisent [14 -15]. Malgré ces reprises des conditions favorables au reverdissement, l'état de la flore reste toujours impacté par les pressions anthropiques comparativement aux résultats de E. Tindano et al. [16]. En plus, les reprises des précipitations ne doivent pas cacher les séquences sèches prévues par les prévisions [17-18] ainsi que les variations spatio-temporelles des pluies annuelles [10].

4. CONCLUSION

Les résultats de la présente étude montrent que la variabilité climatique a été significative durant la période retenue pour l'étude à savoir, 1982-2022. Cette fluctuation suite aux traitements et représentations des paramètres climatiques, se traduit par la hausse des précipitations, l'augmentation des températures couplées avec des séquences sèches et humides. On note que l'évolution des jours chauds consécutifs ($T_x > 90^{\text{ème}}$) a connu une tendance à la hausse à l'échelon de presque toutes les stations du secteur d'étude avec une pente statistiquement significative observée à Lomé, à Dapaong, et à Niamey. Au regard du profil de ces tendances sur la série 1982-2022, il ressort que seule, la station de Kantchari a connu une baisse avec une valeur de pente égale à -0,093. Ces tendances à la hausse sont par contre remarquables dans l'évolution des précipitations

de toutes les stations météorologiques des localités d'étude. En effet, le coefficient de détermination est de 0,07 à Lomé, 0,02 à Sokodé, 0,24 à Dapaong, 0,28 à Kantchari et 0,20 à Niamey. Ces manifestations climatiques relevées dans le parcours de la mousson du Togo à l'ouest du Niger s'expliquent par le réchauffement climatique dont l'incidence sur le couplage océan-atmosphère conduit probablement à un accroissement des phénomènes climatiques extrêmes. En perspective, des études sur les impacts de ces tendances dans les secteurs de l'agriculture, l'élevage, et le transport s'avèrent nécessaires en vue de bien améliorer les rendements agricoles et adapter les infrastructures de transport, surtout que des pluies exceptionnelles s'enregistrent dans le sahel et même dans le Sahara au cours de cette saison 2024.

Références

1. Badameli, K.M et Tchamie T.T.K. 1997. Le climat de Lomé : une expression de l'anomalie climatique du Golfe de Guinée. Centenaire de Lomé, capitale du Togo (1897-1997). Actes de colloque de Lomé, 7, PP 189-201.
2. Lemou, F. 2022. Analyse des caractéristiques pluviométriques de Lomé au cours de la période 2010-2020 (SUD-TOGO). Revue de géographie du laboratoire Leïdi_ISSN 0851-2515_N°27, pp. p.178-188.
3. Edjame, K.S. 2007. Régime des précipitations sur le littoral océanique dans le golfe de guinée ; Revue du CAMES-Nouvelle Série B. n. Vol. 008 N° 1 – (1er Semestre) ; 185-194.
4. Lebel, T. et Vischel, T. 2004. Climat et cycle de l'eau en zone tropicale : un problème d'échelle. C. R. Geoscience 337 (2005), pp. 29-38.
5. Salako, A.P.M. 2021. Migrations de l'équateur météorologique et variabilité intra-saisonnière des pluies au Benin. Thèse de Doctorat Unique de l'Université de Lomé, 383 pages.
6. Yabi, I. 2008. Etude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques à son développement dans le Centre du Bénin. Thèse de Doctorat Unique. EDP/FLASH/UAC. 235 pages.
7. Ogouwale, E. 2006. Changement climatique dans le Bénin méridionale et central : Indicateurs, scénarios et perspectives de la sécurité alimentaire. Thèse de Doctorat/Université d'Abomey-Calavi, 320 pages.
8. Boko, M. et Adjovi, L.C. 1994. Recherche de tendance dans les séries pluviométriques du Bénin : implication agro-climatique. Publications de l'AIC, vol 7. pp. 294-304.
9. Talib, J.; Taylor, C.M.; Klein, C.; Harris, B.L.; Anderson, S.R.; Semeena, V.S. 2022. The sensitivity of the West African monsoon circulation to intraseasonal soil moisture feedbacks. Q J R Meteorol Soc., 148, pp 1709–1730.
10. Gaspaldy, R.S. 1998. Part de la variabilité climatique sur les fluctuations de la production agricole au Pérou de 1960 à 1993. Thèse de Doctorat 3ème cycle, Paris, 324 pages.
11. Adewi, E. et Dubreuil, V. 2012. Variabilité climatique et paludisme à Kara, une ville du Nord-Togo. Bigot S. et Rome S. (Eds), Les climats régionaux : observation et modélisation, Actes du colloque organisé à Grenoble du mercredi 05 au samedi 08 octobre 2012, p. 57-62.
12. 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. GIEC, Suisse, 103 p.
13. Vissin, E.W. 2007 : Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du bassin du fleuve Niger. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 267p.
14. Ingrassio, R.; Pausata, S.R.; Francesco, .R. 2024. Contrasting consequences of the Great Green Wall : Easing aridity while increasing heat extremes. One Earth 7, pp.455–472.
15. Wang, G. and Alo, A.C. 2011. International Journal of Geophysics, Volume 2012, pp. 1-10.
16. Tindano, E.; Kadeba, A.; Traoré, I.C.E.; Thiombiano, A. 2023. Effects of abiotic factors on the flora and vegetation of inselbergs in Burkina Faso. Environmental Advances 12 (2023) 100378, pp. 1-10.
17. Sawadogo, W.; Neya, T.; Semde, I.; Korahir, J.A.; Combass, A.; Traore, D.E.; Ouedraogo, P.; Diasso, U.J.; Abiodun, B.J.; Bliefert, J.; Kunstman, H.; .2024. Potential impacts of climate change on the sudan-sahel region in West Africa – Insights from Burkina Faso. Environmental Challenges 15 (2024) 100860, pp. 1-16
18. Badameli, K.M. 1998. Analyse et prise en compte des risques climatiques en agriculture : cas de la région maritime du Togo Travaux et Recherche géographiques, Revue Géographique de l'Université du Bénin, Lomé N° spécial, Presse de l'Université de Lomé, 1998, pp 239-250.

Modification de la bentonite par les sels de bisimidazolium et applications à l'adsorption de colorants textiles

Makhoukhi Benamar¹, Benguella Belkacem

¹ Laboratoire de Chimie Inorganique et Environnement, Université de Tlemcen BP 113,

² Laboratoire de Chimie Inorganique et Environnement, Université de Tlemcen BP 113,

Résumé

La modification d'une bentonite par intercalation des cations de bismidazolium (MBIM) pourrait fournir des matériaux argileux organophiles qui permettent une rétention efficace des colorants textiles. Le présent travail porte sur la modification de la bentonite (Bt) par les cations (ortho, méta et para) bisimidazolium et sur les tentatives d'élimination de colorants textiles synthétiques, tels que (Rouge-Telon, Orange-Telon et bleu-Telon) par adsorption, à partir de solutions aqueuses.

Les bentonites modifiées ont été caractérisées par spectroscopie infrarouge (FTIR), diffraction des rayons X (XRD) et analyse thermogravimétrique (TGA). Les tests d'adsorption appliqués aux colorants ont révélé une augmentation importante des capacités d'adsorption (de 21-28 à 88-108 mg.g⁻¹) après intercalation. Les meilleurs rendements ont été obtenus en utilisant la bentonite modifiée par le p-MBIM pour adsorber le colorant Orange. L'équation de vitesse de pseudo-premier ordre a été en mesure de fournir la meilleure description des données de cinétique d'adsorption pour les trois colorants. Les modèles d'adsorption de Langmuir et Freundlich ont été appliqués pour décrire les isothermes d'équilibre et les constantes d'isothermes ont également été déterminées.

Mots clés: Bentonite, Bisimidazolium, Colorants textiles, Adsorption, Isotherme.

Organophilic bentonite for Telon derivatives removal from aqueous media

Abstract

Clay ion-exchange using bismidazolium salts (MBIM) could provide organophilic clays materials that allow effective retention of polluting dyes. The present investigations deal with bentonite (Bt) modification using (ortho, meta and para) bisimidazolium cations and attempts to remove a synthetic textile dyes, such as (Telon-Orange, Telon-Red and Telon-Blue) by adsorption, from aqueous solutions. The surface modification of MBIM-Bt was examined using infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD) and thermogravimetric analysis (TGA). Adsorption tests applied to Telon dyes revealed a significant increase of the maximum adsorption capacity from ca. 21-28 to 88-108 mg.g⁻¹ after intercalation. The highest adsorption level was noticed for Telon-Orange dye on the p-MBIM-Bt, presumably due higher interlayer space and better diffusion. The pseudo-first order rate equation was able to provide the best description of adsorption kinetics data for all three dyestuffs. The Langmuir and Freundlich adsorption models were applied to describe the equilibrium isotherms and the isotherm constants were also determined. The results show that MBIM-Bt could be employed as low-cost material for the removal of Telon dyes from effluents.

Keywords: Bentonite, Organoclay, Bisimidazolium, Dyes, Isotherms, Adsorption.

¹ Corresponding author: benamarmakh@yahoo.fr

INTRODUCTION

The removal of color dyes from wastewater before they are contacted with unpolluted natural water bodies is currently one of the major problems faced by the textile dyeing industry [1]. Various physical, chemical and biological processes have been used for the removal of dye from aqueous solutions; such as adsorption, chemical precipitation, ion exchange, membrane processes, biological degradation, chemical oxidation and solvent extraction [2].

In this regard, montmorillonite-rich materials like bentonites exhibit highly interesting properties, e.g. high specific surface area, cation-exchange capacity (CEC), porosity, and tendency to retain water or other polar and non-polar compounds [3]. The modification of clay surface is called as organoclay to cause to transform organophobic to strongly organophilic and therefore the adsorption capacity increases to compare with natural clay mineral and it can be used as an adsorbent for the adsorption of dyes. This kind of surfactant modified organobentonite has been used extensively for a wide variety of environmental applications [4].

The aim of the present work is to investigate the possibility of new organo-bentonites as an adsorbent for removal of Telen dyes, which is, namely Red, Blue and Orange, from aqueous solution by adsorption method. Thus, organo-bentonites containing different organic cations (para, meta or ortho) bisimidazolium dichloride (MBIM) were prepared. The organobentonites were characterized by FTIR spectroscopic technique, powder X-ray diffraction analysis and thermogravimetric analysis. The adsorption capacity of Telen dyes with modified bentonites was carried out using two kinetic models, which are the pseudo-second-order and first order. Finally, the experimental data were compared with two isotherm equation, which are Langmuir and Freundlich.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Bentonite sample

The natural bentonite used in this study was obtained from deposits in the area of Maghnia, Algeria. The chemical composition determined by X-ray fluorescence spectroscopy (PHILIPS PW 3710) was found to be as follows: 62.4% SiO₂, 17.33% Al₂O₃, 1.2% Fe₂O₃, 3.56% MgO, 0.8% K₂O, 0.81% CaO, 0.2% TiO₂, 0.33% Na₂O, 0.05% As, 13.0% loss on ignition at 900°C. The mineralogical analysis showed that the native crude clay mineral contains preponderantly montmorillonite (Mt), in a proportion exceeding 85 wt.%. The clay composition also includes quartz (10 wt.%), cristoballite (4.0 wt.%) and beidellite (less than 1 wt.%) [5].

2.2. Synthesis of Bis-imidazolium salts

Synthesis of bisimidazolium salts were based on the reaction of bis(chloromethyl) benzenes (1 eq) with imidazoles (2 eq) in dimethylformamide (DMF) as solvent [6].

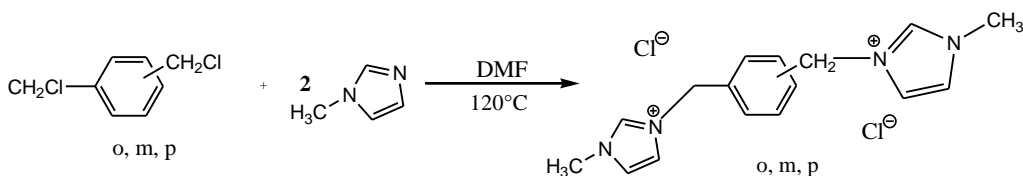


Fig. 1 - Synthesis of bis-imidazolium dichloride

2.3. Preparation of Organo-clays

The intercalation of the bis-imidazolium salts into the Na-Bt galleries was carried out by cationic exchange reaction following a previously described procedure: 10 g of Na-Bt were dispersed into 200 ml of hot water under continuous stirring. Then 50 mmole of bis-imidazolium salt was added under strong stirring [7].

The XRD pattern of crude Na-Bt, p.MBIM-Bt, m.MBIM-Bt and o.MBIM-Bt were exhibiting the reflection peak occurred at 6.9°, 4.8°, 5.2° and 5.5°, respectively. The interlayer spacing distance of the clays was found to be

12.8, 19.53, 18.4 and 16.05 Å, respectively. The interlayer spacing of bisimidazolium-Bt clays was found to be higher than the crude bentonite clay. The IR spectra of the intercalated bentonites reveal the presence of characteristic absorption bands of both inorganic and organic components, the characteristic bands of the initial bentonite remaining unaffected (i.e. band at 991 cm^{-1} can be associated at Si–O stretching vibrations) [8].

The onset temperatures of degradation for the different organoclays are derived from DTGA curves at the point where the derivative weight loss increases. The DTGA curves in region between (300-500 °C) are characterised by an exothermic peaks. The temperature at the onset of the first (prominent) isotherm is taken to represent the point at which the intercalated surfactant begins to decompose [9]. For the partially exchanged MBIM-bentonite this peak has a maximum (T_{max}) at 360°C.

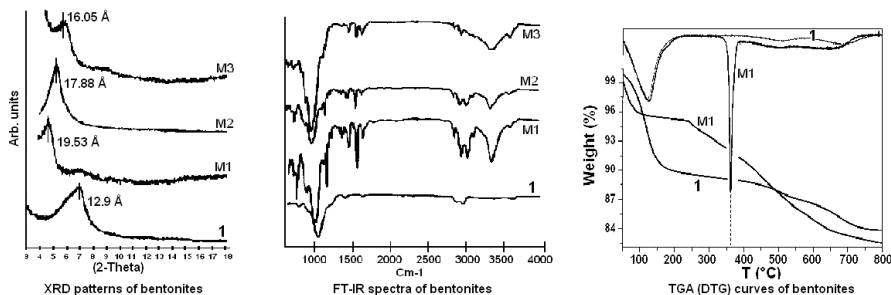


Fig. 2 - Characterization of bentonites before and after modification. (1)Bt; (M1) p.MBIM–Bt; (M2) m.MBIM–Bt; (M3) o.MBIM–Bt

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Dye adsorption over Na-Bt

In an attempt to express the mechanism of dyes adsorption onto the Na-Bt, the following kinetic model equations are used to analyze the adsorption experimental data for determination of the related kinetic parameters.

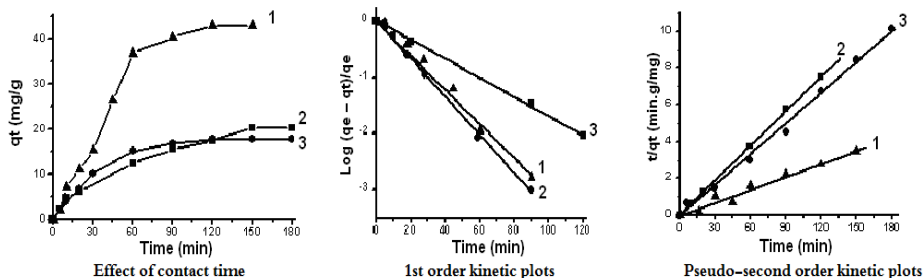


Fig. 3 - Kinetic plots for the adsorption of dye onto Na-Bt. 1: Telon-Orange, 2: Telon-Red, 3: Telon-Blue

The coefficients values of the pseudo-first order model (≥ 0.98) were better than those of the pseudo-second order model for the adsorption of dyes at the considered concentration, suggesting that pseudo-first order model was more suitable to describe the adsorption kinetics of dyes onto Na-Bt.

3.2. Adsorption on Organo-Bt

The type of bisimidazolium cation and dye to be retained played key roles, inasmuch as maximum dye amounts of 108.3 (for Telon-orange), 96.7 (for Telon-red) and 82.4 mg/g (for Telon-blue) were adsorbed of p-MBIM–Bt, while the lowest were obtained when using o-MBIM–Bt. Compared to Na-Bt (the maximum dye retention level did not exceed 27.8 mg/g), the use of organo-Bt for dyes adsorption is more favourable.

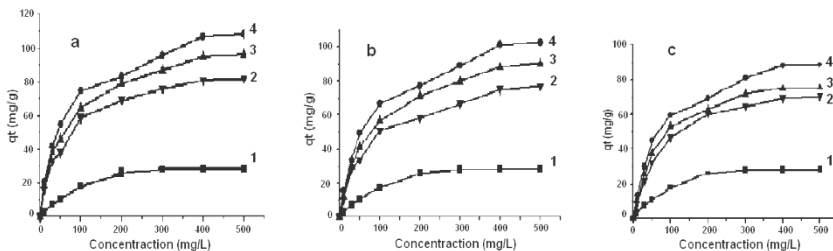


Fig. 4 - Amount of adsorbed dye on organo-Bt. a: Telon-Orange, b: Telon-Red, c: Telon-Blue. 1: Na-Bt, 2: o-MBIM-Bt, 3: m-MBIM-Bt, 4: p-MBIM-Bt

3.3. Dye Adsorption modeling

A first approach to describe the adsorption process was achieved with Langmuir's model, by plotting (C_e/q_e versus C_e). Satisfactory linearity was obtained, and the (R^2) values reached 0.98 for the adsorption of Telon-blue onto (o, m, p)-MBIM-Bt (Table 4). The values between 68.44 to 88.45 mg/g for the amount of an adsorbed dye monolayer (q_m) were in agreement with the respective maximum amounts of dye adsorbed (q_{max}) onto these organo-Bt, namely 68.44 (o-MBIM-Bt), 83.53 (m-MBIM-Bt) and 88.45 mg/g (p-MBIM-Bt). Adsorption of Telon-orange and Telon-red did not correlate with Langmuir's model. The specific behaviour of Telon-blue must be due to its higher molecule length and its higher number of sulfonate groups.

Table 1 - Langmuir parameters for dyes adsorption onto organo-Bt

orbent	p-MBIM-Bt		m-MBIM-Bt		o-MBIM-Bt	
	ng/g)	/g)	ng/g)	/g)	ng/g)	/g)
elon-ange	3.23	1	3.16	08	0.48	09
elon-red	2.57	8	0.47	1	0.45	4
elon-blue	0.45	3	0.53	3	0.44	4

In most cases of dyes adsorption onto organo-Bt, Freundlich model turned out to be more adequate, inasmuch as the (R^2) values were highly significant, being closer to unity than those obtained in Langmuir's approach (Table 5).

Table 2 - Freundlich parameters for dyes adsorption onto organo-Bt

Dye	p-MBIM-Bt			m-MBIM-Bt			o-MBIM-Bt		
	F	n	R ²	F	n	R ²	F	n	R ²
Telon-Orange	24	71	0.99	73	49	0.99	29	0.02	0.99
Telon-Red	68	49	0.98	20	96	0.98	81	0.12	0.98
Telon-Blue	72	43	0.98	50	73	0.98	17	0.36	0.98

Better linearity was observed for all isotherms in the whole range of concentration investigated, when plotting $\ln(q_e)$ as a function of $\ln(C_e)$. This was presumably due to heterogeneity of the organo-Bt surface and to dye-adsorbent interactions. The latter may strongly depend on the chemical structure of the dye molecules.

CONCLUSION

The research was carried out in this paper clearly suggests that bisimidazolium modified bentonite acts a well adsorbent for the removal of Telon dyes from aqueous solutions.

Preparations of new organo-Bt were carried out through the intercalations of bisimidazolium cations into purified bentonite. The surface modification of organo-Bt was examined by using various technique; measurement of the d-spacing of the (001) peak indicate that about (3–7 Å) increase in basal spacing was due to the introduction of organic cations into the bentonite interlayer.

Batch studies applied to Telon dyes revealed a significant increase of the maximum adsorption capacity from 21-28 on Na-Bt to 88-108 mg.g⁻¹ on organo-Bt. Physical adsorption may take place on Na-Bt, but stronger dye-adsorbent interactions and anion exchange on positively charged edge sites must also be involved in Telon-dyes retention on organo-Bt. The highest adsorption capacity was noticed for Telon-orange dye on the p-MMBI-Bt, presumably due higher interlayer space and better diffusion.

The pseudo-first order rate equation was able to provide the best description of adsorption kinetics data for all three dyestuffs. Also, a pseudo-second order kinetic and intraparticle diffusion models have been applied to predict the rate constants of adsorption and equilibrium adsorption capacities. The straight lines obtained for the Langmuir and Freundlich models obey to fit well with the experimental equilibrium data but the Freundlich model gives slightly better fitting than Langmuir model.

The results show that bisimidazolium modified bentonite could be employed as low-cost material for the removal of Telon dyes from effluents.

References

- [1] K. Tizaoui, B. Benguella, B. Makhoukhi, Selective adsorption of heavy metals (Co²⁺, Ni²⁺, and Cr³⁺) from aqueous solutions onto natural marne clay, *Desalin. Water Treat.* 142 (2019) 252–259.
- [2] M. Djab, B. Makhoukhi, Adsorption of Cadmium onto modified bentonites from aqueous solutions, *J. Mat. Env. Sci.* 9 (2018) 2238-2246.
- [3] B. Makhoukhi, Application of new organoclays for the adsorption of bemicide dyes from aqueous solutions, *Desalin. Water Treat.* 113 (2018) 235–243.
- [4] I. Belbachir, B. Makhoukhi, Adsorption of Bezathren dyes onto sodic bentonite from aqueous solutions, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 75 (2017) 105–111.
- [5] B. Makhoukhi, D. Villemin, M.A. Didi, Preparation, characterization and thermal stability of bentonite modified with bis-imidazolium salts, *Mater. Chem. Phys.* 138 (2013) 199–203.
- [6] B. Makhoukhi, D. Villemin, M.A. Didi, Synthesis of bisimidazolium–ionic liquids: Characterization, thermal stability and application to bentonite intercalation, *J. Taibah Univ. Sci.* 10 (2016) 168–180.
- [7] B. Makhoukhi, M.A. Didi, H. Moulessehoul, A. Azzouz, D. Villemin, Diposphonium ion-exchanged montmorillonite for Telon dye removal from aqueous media, *Appl. Clay Sci.* 50 (2010) 354–361.
- [8] B. Makhoukhi, M. Djab, M.A. Didi, Adsorption of Telon dyes onto bis-imidazolium modified bentonite in aqueous solutions, *J. Env. Chem. Eng.* 3 (2015) 1384–1392.
- [9] I. Lansari, B. Benguella, N. Kruchinina, A. Nistratov, Adsorption of Textile Dye from Aqueous Solution on Natural and Modified Sawdust. *Desalin. Water Treat.* 194 (2020) 259–268.

L'impact de l'émergence des acteurs privés dans la gestion de l'eau potable au Bénin : Synthèse des connaissances et perspectives de recherche

Gildas Sènamèdè Aizannon¹, Gildas Hervé Adoté Akueson², Ismail Moumouni-Moussa

¹Laboratoire de Recherche sur l'Innovation pour le Développement Agricole (LRIDA), Université de Parakou, Parakou, Bénin

²Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire Valéry Giscard d'Estaing de Faranah (IS AV-VGE/F), B.P : Faranah, République de Guinée-

Unit of Applied Statistics and Informatics (USIA), Laboratory of Studies and Research in Forestry (LERF), University of Parakou, Parakou BP 123, Benin.

Résumé

Au même titre que l'air que nous respirons, l'eau, liquide vital, conditionne simplement toute vie terrestre et influence l'existence sociale, culturelle, politique et économique de l'homme.

L'accès à l'eau potable demeure un défi majeur au Bénin, où une part importante de la population n'a pas accès à une eau de qualité. Dans ce contexte, l'émergence des producteurs locaux privés d'eau potable représente une réponse significative aux lacunes des systèmes publics. Cette revue de littérature explore les travaux de chercheurs tels que Banon et Bonnassieux (2011), Hotéyi (2014), Akijo (2017), Odoulami (2009), Kelomé (2012), Gomis (2022), Posner, (1974) ; Peltzman, (1976), (Hountondji, Nouatin, Moumoun-Moussa, Nansi & Krukert 2022), Lagnika (2014) , Sourougou (2021), Yetongnon (2020), Faye (2020), Ki Zerbo (2006) , Marteau (2010), Abdoul-Ramane (2020) , North (1990), Olinor Olstrom (1990) ; Rhodes, (1996) ; Friedman (1962) ainsi que d'autres études pertinentes, pour analyser l'impact et les enjeux associés à ces acteurs privés dans le secteur de l'eau sans occulter les approches et théories qui éclairent la présente étude.

Mots clés : émergence-privés locaux-eau potable au Bénin-

Removal of chemical pollutants by Algerian clays

Abstract

Just like the air we breathe, water, a vital liquid, is essential for all terrestrial life and influences the social, cultural, political, and economic existence of humanity. Access to drinking water remains a major challenge in Benin, where a significant portion of the population does not have access to quality water. In this context, the emergence of local private producers of drinking water represents a significant response to the shortcomings of public systems. This literature review explores the works of researchers such as Banon and Bonnassieux (2011), Hotéyi (2014), Akijo (2017), Odoulami (2009), Kelomé (2012), Gomis (2022), Posner (1974), Peltzman (1976), Hountondji, Nouatin, Moumoun-Moussa, Nansi & Krukert (2022), Lagnika (2014), Sourougou (2021), Yetongnon (2020), Faye (2020), Ki Zerbo (2006), Marteau (2010), Abdoul-Ramane (2020), North (1990), Olinor Olstrom (1990), Rhodes (1996), Friedman (1962), along with other relevant studies, to analyze the impact and issues associated with these private actors in the water sector, while also considering the approaches and theories that inform this study.

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

¹ Corresponding author: gildasaizannon@gmail.com

INTRODUCTION

L'accès à l'eau potable est un enjeu mondial majeur qui influence profondément la santé, le bien-être et le développement économique des sociétés. Dans les pays en développement, et particulièrement au Bénin, l'accès à une eau de qualité reste un défi persistant malgré les efforts déployés par les autorités publiques et les organisations internationales (Ki Zerbo, 2006). Selon l'Organisation mondiale de la Santé, une partie importante de la population béninoise continue de faire face à des difficultés pour obtenir de l'eau potable, notamment en milieu rural et dans les zones périurbaines (Hountondji et al., 2022).

Face aux limites des systèmes publics de distribution d'eau, marqués par des infrastructures vieillissantes, un financement insuffisant et des capacités institutionnelles limitées (Faye, 2020 ; Gomis, 2022), l'émergence des producteurs privés locaux d'eau potable représente une réponse significative pour pallier ces insuffisances. Ces acteurs privés ont su proposer des solutions innovantes et adaptées aux réalités locales, en diversifiant les sources d'approvisionnement et en adoptant des technologies de purification accessibles (Odoulami, 2009 ; Lagnika, 2014).

La littérature sur les systèmes d'approvisionnement en eau dans les pays en développement s'intéresse de plus en plus à la contribution des initiatives privées dans ce secteur. Friedman (1962) et Rhodes (1996) ont notamment souligné l'importance des acteurs privés dans la fourniture de services essentiels, en insistant sur leur capacité à réagir rapidement aux besoins locaux et à introduire des pratiques plus efficaces que celles des structures publiques. En ce sens, l'émergence de ces producteurs privés d'eau potable au Bénin peut être vue comme une manifestation des théories de la libéralisation et de la décentralisation des services publics (Posner, 1974 ; Peltzman, 1976).

Cette revue de littérature se propose d'examiner les contributions et les défis liés à l'émergence des producteurs privés locaux d'eau potable au Bénin. Elle analysera les travaux de chercheurs comme Banon et Bonnassieux (2011), Hoteyi (2014), Akiyo (2017), et Abdoul-Ramane (2020), en mettant en lumière les aspects économiques, sociaux et environnementaux de cette dynamique. En explorant les divers modèles d'approvisionnement et les implications de la gestion privée, cette revue cherche à dégager les enseignements et les perspectives pour une amélioration durable de l'accès à l'eau potable au Bénin.

Méthodologie

Pour réaliser cette revue de littérature, une approche systématique a été adoptée afin de garantir une analyse complète et rigoureuse des travaux existants sur l'émergence des producteurs privés locaux d'eau potable au Bénin. La méthodologie se décompose en plusieurs étapes clés :

1. Définition du cadre de recherche

La revue se concentre sur les études traitant de l'approvisionnement en eau potable au Bénin, en mettant un accent particulier sur le rôle des acteurs privés locaux.

Les concepts centraux abordés incluent l'émergence des initiatives privées, les politiques publiques en matière d'eau, les modèles économiques d'approvisionnement, ainsi que les défis environnementaux et sociaux liés à la gestion de l'eau.

2. Critères de sélection des études

Inclusion : Les articles, rapports, thèses et études de cas publiés entre 2000 et 2023 ont été sélectionnés, afin de garantir une couverture actuelle et pertinente des sujets. Les travaux qui analysent le contexte béninois de manière comparative avec d'autres pays de la région ont également été considérés.

Exclusion : Les publications qui ne traitent pas spécifiquement du secteur de l'eau au Bénin ou qui n'incluent pas une dimension d'analyse des acteurs privés locaux ont été exclues.

3. Sources de données

La recherche documentaire a été réalisée à partir de bases de données académiques telles que Google Scholar, JSTOR, ScienceDirect, et ResearchGate.

Des documents institutionnels et rapports publiés par des organisations internationales (OMS, UNICEF, Banque mondiale) et des agences nationales (Ministère de l'Eau au Bénin) ont été utilisés pour obtenir des données de contexte et des statistiques récentes.

En complément, des études de terrain et rapports d'ONG opérant au Bénin ont été examinés pour mieux comprendre les dynamiques locales et les interventions des producteurs privés.

4. Mots-clés et stratégies de recherche

Des mots-clés stratégiques ont été employés pour identifier les études pertinentes : approvisionnement en eau potable au Bénin, acteurs privés de l'eau, gestion de l'eau en Afrique de l'Ouest, politiques de l'eau au Bénin, producteurs locaux d'eau, privatisation des services publics d'eau.

Les recherches ont été affinées en utilisant des filtres par date, région géographique et type de publication pour cibler les travaux les plus pertinents.

5. Analyse et synthèse des données

Les études sélectionnées ont été regroupées en fonction des thèmes suivants : politiques publiques et réglementation, modèles d'affaires de producteurs privés, innovation technologique, défis économiques et sociaux, et impacts environnementaux.

Une grille d'analyse a été élaborée pour extraire et comparer les informations clés de chaque étude, facilitant ainsi une synthèse structurée des résultats.

Une attention particulière a été accordée aux approches théoriques soutenant ces travaux, comme les théories de la gestion des ressources, les modèles de gouvernance collaborative et les cadres de développement durable.

6. Limites de la méthodologie

Il est important de noter que certaines études pertinentes peuvent ne pas avoir été accessibles en raison de restrictions d'accès ou de publications non disponibles en ligne.

De plus, la diversité des contextes locaux au Bénin signifie que certaines conclusions peuvent ne pas être généralisables à toutes les régions, ce qui constitue une limite à prendre en compte dans l'interprétation des résultats.

Cette méthodologie systématique vise à offrir une vue d'ensemble exhaustive et objective de la littérature existante sur l'émergence des producteurs privés d'eau au Bénin, tout en identifiant les lacunes et les pistes de recherche futures.

Résultats :

1-Cadre théorique / conceptuel

La clarification de quelques concepts clés en rapport avec la gestion de l'eau est utile pour avoir une meilleure vue sur les positions majeures de la littérature scientifique sur cette thématique dans le contexte du Bénin et la compréhension qu'il faut avoir de ces notions dans le cadre de la présente recherche.

1-1. Définition des Concepts

- Approvisionnement en Eau

L'approvisionnement en eau désigne l'ensemble des opérations qui consistent à mobiliser une ressource en eau, à la traiter afin de la rendre potable, et à la transporter vers les consommateurs. Selon R. W. K. (2000), ce processus est essentiel, car l'eau est le service municipal le plus vital ; les individus dépendent de l'eau non seulement pour boire, mais aussi pour cuisiner, se laver, éliminer les déchets et satisfaire d'autres besoins domestiques. De plus, l'approvisionnement en eau répond aux exigences des activités publiques, commerciales et industrielles, soulignant ainsi son rôle crucial dans le fonctionnement de la société.

- Producteurs locaux privés :

Les producteurs locaux privés d'eau potable désignent des individus ou des entreprises qui fournissent de l'eau, souvent en dehors des structures étatiques. Cette dynamique s'inscrit dans une approche de gestion décentralisée, où les communautés prennent des initiatives pour améliorer leur accès à l'eau.

Dans le cadre de la présente étude, ce concept désigne uniquement les petits producteurs locaux privés de l'eau potable et ne prend pas en compte les entreprises internationales de taille importante bien formalisées telles que « Fifa de Sainte Luce » ou « Possotomé »... qui commercialisent de l'eau minérale ou thermale souvent certifiée ISO.

- Dispositif d'AEP

Le concept de "dispositif d'approvisionnement en eau potable" désigne l'ensemble des infrastructures, technologies, processus et acteurs impliqués dans la fourniture d'eau potable à une population. Cela inclut à la fois les systèmes de captage, de traitement, de distribution, ainsi que les réglementations et les pratiques de gestion. Sophie P. G. (2013) : Dans ses travaux, Sophie P. G. met en avant l'importance de considérer les dimensions socio-économiques et culturelles dans la conception et la gestion des dispositifs

d'approvisionnement en eau. Elle souligne que les dispositifs doivent s'adapter aux besoins locaux et aux contextes spécifiques pour être réellement efficaces

- Source

C'est une sortie naturelle de l'eau souterraine à la surface du sol dont l'émergence peut être localisée ou diffuse.

Cette eau est souvent bonne à boire mais peut cependant être polluée à sa sortie du sol. C'est pour cette raison qu'on est souvent obligé de l'aménager afin d'éviter un tel danger pour ses consommateurs et protéger la zone de captage.

- Système classique d'approvisionnement en eau potable

Ce sont des installations d'approvisionnement incluant les ouvrages de captage ou prise d'eau, ceux de traitement, au moins une station de pompage et des réservoirs de stockage constituant la réserve, des installations de distribution appelées aussi réseau de distribution qui peuvent aller jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres de conduites avec des points de desserte constitués

- Adduction d'Eau Potable

L'adduction d'eau est le transfert de volumes d'eau entre deux points, comme la source et la station de traitement, ou le réseau de distribution. Elle peut être gravitaire, utilisant la différence d'altitude, ou par refoulement, où une pompe pousse l'eau. Étymologiquement, "adduction" provient du latin "ad ducere", signifiant mener ou conduire. En ce sens, l'adduction d'eau potable désigne la technique permettant d'amener l'eau d'une source vers un point de consommation. Ce processus doit prendre en compte des aspects socio-organisationnels, où les bénéficiaires contribuent aux travaux, soit financièrement, soit par des efforts communautaires (Iharimalala, 2019).

- Accès à l'eau potable

L'accès à l'eau potable se réfère au pourcentage de la population pouvant accéder, dans des conditions satisfaisantes, à un approvisionnement suffisant en eau potable, au domicile ou à une distance raisonnable de celui-ci.

si l'objectif est de répondre aux enjeux sanitaires de l'accès à l'eau, il est nécessaire de considérer l'accessibilité à l'eau, mesurée non pas seulement selon le type d'approvisionnement en eau, mais aussi en termes de distance ou de temps, de coût économique, de quantités disponibles et de qualité de l'eau consommée (John LIBBEY, 2012)

- L'eau potable : définition, origines, critères de potabilité et traitements

La loi 2010-44 du 24 novembre 2010 portant gestion de l'eau en République du Bénin définit l'eau potable comme une : « eau destinée à la consommation humaine répondant, à l'état naturel ou traité, à des normes définies par la réglementation en vigueur sur la qualité de l'eau »

L'eau potable est donc une eau que l'on peut boire ou utiliser à des fins domestiques et industrielles sans risque pour la santé (Philippe BEAULIEU, 2020)

L'OMS, en raison des contraintes et spécificités de chaque pays, n'a pas de norme standard internationale de l'eau potable mais se contente de produire des directives sur la qualité de l'eau de boisson ; des directives qui servent de base référentielle à l'élaboration de règles ou normes nationales partout dans le monde. Toutefois, pour l'OMS, une eau est dite potable lorsqu'elle « peut être consommée sans risquer sa santé ». Elle doit remplir un certain nombre de critères microbiologiques, physico-chimiques, qui cadrent avec les limites autorisées par l'OMS. Ainsi, l'eau potable ne doit-elle contenir aucun agent pathogène ou chimique à des concentrations capables de nuire (rapport ONU EAU 2019). Dans la réglementation française par exemple, les termes « eau potable » se remplacent systématiquement par « eau propre à la consommation »

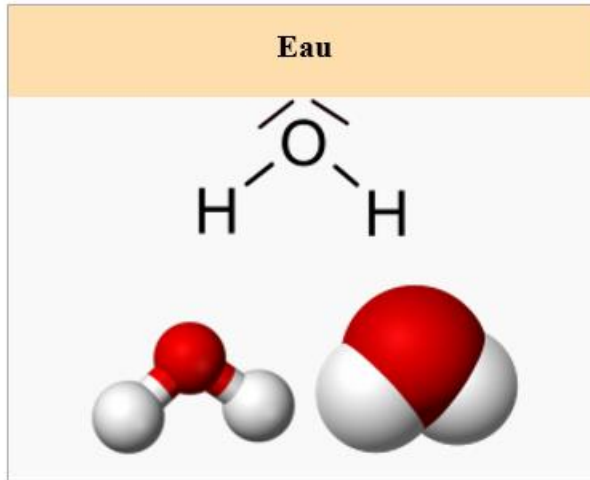


Figure 1: Formule chimique de l'eau

L'eau brute utilisée pour produire de l'eau "potable" (du latin *potabilis*, signifiant "qui peut être bu") provient principalement des eaux souterraines (nappes superficielles et profondes), des eaux de surface (torrents, rivières, lacs) ou de l'eau de pluie récupérée sur les toits. En principe, l'eau à l'état naturel n'est pas potable, car elle contient souvent des microorganismes, des bactéries et des paramètres physico-chimiques qui deviennent nuisibles à la santé humaine au-delà d'un certain seuil. C'est pourquoi l'OMS a établi des directives pour garantir la potabilité de l'eau. Pour obtenir de l'eau potable de robinet, l'eau brute prélevée par captage souterrain ou de surface doit être traitée afin d'éliminer les impuretés telles que les débris, les grains de sable, les bactéries, les virus et des substances chimiques indésirables comme les nitrates, les phosphates, les métaux lourds, les hydrocarbures et les pesticides. En revanche, les éléments essentiels à la santé, comme les sels minéraux (calcium, magnésium, potassium) et certains oligoéléments (fluor, cuivre, fer, zinc), doivent être préservés. L'eau captée est ensuite envoyée vers une usine de traitement pour sa décontamination, puis acheminée vers des réservoirs de stockage ou des châteaux d'eau via des canalisations souterraines. Des pompes permettent de stocker l'eau en hauteur afin de la distribuer dans les habitations. Par exemple, la Société Nationale des Eaux du Bénin capte une grande partie de son eau brute dans le fleuve Okpara pour approvisionner en eau potable les populations de Parakou (P. Lanmandjekpogni et al., 2019 ; D. Zogo et al., 2008). Les critères de potabilité font référence à la teneur ou quantité maximale des paramètres physico-chimiques tels que le pH (potentiel hydrogène et la température, la conductivité ou dureté de l'eau, les ions, les chlorures, les potassiums et les sulfates. Aux propriétés organoleptiques de l'eau potable (couleur, le goût, l'odeur), aux paramètres microbiologiques (virus, bactéries, parasites), les paramètres liés aux substances indésirables (nitrates, nitrites, pesticides), les paramètres liés aux substances toxiques (micropolluants tels que l'arsenic, le cyanure, le chrome, le nickel, le sélénium, certaines hydrocarbures assez toxiques) tels que fixés par chaque pays en rapport avec les Directives de l'Organisation Mondiale de la Santé.

ii - Normes de potabilité de l'eau au Bénin

Le Bénin, par décret N°2001-094 du 20 février fixe les normes de qualité de l'eau potable inspirées des directives OMS. Elles se présentent comme suit :

- Des normes microbiologiques (article 11 du décret N°2001-094 du 20 février 2001)

Tableau 1 : Normes microbiologiques

Tableau 1 : Normes microbiologiques

Paramètres	Unités	Normes		Méthodes
		Eau non désinfectée	Eau désinfectée	
Algues, champignons, protozoaires...etc	Nbr/ml	0	0	Identification par microscope optique
Germes banals ou autochtones	Nbr/ml	50	20	Dénombrement direct par numérotation de colonies isolées après ensemencement sur milieu solide
Shigella	Nbr/100ml	0	0	Dénombrement par filtration sur membrane cellulosique de 0, 45 µm et ensemencement sur milieu solide
Streptocoques fécaux	Nbr/100ml	0	0	Dénombrement par filtration sur membrane cellulosique de 0, 45 µm et ensemencement sur milieu solide
Salmonella	Nbr/100ml	0	0	Dénombrement par filtration sur membrane cellulosique de 0, 45 µm et ensemencement sur milieu solide
Clostridium perfringens	Nbr/20ml	0	0	Dénombrement direct par numérotation de colonies isolées après ensemencement sur milieu solide
Staphylocoques	Nbr/100ml	0	0	Dénombrement par filtration sur membrane cellulosique de 0, 45 µm et ensemencement sur milieu solide
Escherichia Coli	Nbr/100ml	0	0	Dénombrement par filtration sur membrane cellulosique de 0, 45 µm et ensemencement sur milieu solide
Coliformes totaux	Nbre/100ml	0	0	Dénombrement par filtration sur membrane cellulosique de 0, 45 µm et ensemencement sur milieu solide
Vibrions cholériques	Nbr/100ml	0	0	Identification par microscope optique

- Des normes physico-chimiques (article 17 du décret N°2001-094 du 20 février 2001)

Tableau 2: : Normes physico-chimiques

Paramètres	Unités	Valeur maximale permise
Paramètres Physiques		
Turbidité	¹ UTN ou ² FNU	5,0
Paramètres chimiques inorganiques		
Arsenic		0,05
Baryum		1,0
Bore		5,0
Cadmium	Mg/l	0,005
Chrome	Mg/l	0,05
Cuivre	Mg/l	2,0
Cyanures	Mg/l	0,2
Fluorures	Mg/l	1,5
Mercure	Mg/l	0,001
Nickel	Mg/l	0,02
Nitrates	Mg/l	45
	Mg/N/l	10
Nitrites	Mg/l	3,2
	Mg/N/l	0,1
Plomb	Mg/l	0,05
Sélénium	Mg/l	0,01
Sulfates	Mg/l	500
PH	Mg/l	pH < 8,5 6,5
Paramètres chimiques organiques		
Benzène	Mg/l	0,010
Composés phénoliques	Mg/l	0,002

Dans la réalité, très peu de forages et puits privés prennent la précaution de connaître la situation physico-chimique de l'eau proposée aux populations et qui est parfois une tueuse silencieuse. A titre d'exemple dans la commune de Pobè au Bénin, cette pollution est causée par les activités humaines du fait de l'infiltration des eaux usées et des engrais chimiques. Les fortes teneurs en nitrates et en ammonium prouvent que cette eau est impropre à la consommation humaine et nécessite dans la majorité des puits un traitement préalable (Lagnika et al., 2014)

Par contre, les paramètres physico-chimiques des eaux des quatre barrages de l'Alibori ont montré que les eaux des barrages se situent dans des limites tolérables par rapport à la faiblesse socio-économique développement de la zone d'étude (Sourogou et al., 2021)

iii) Etapes de traitement de l'eau de boisson

Hernandez (2007) dans ses recherches sur *la supervision et le diagnostic des procédés de production d'eau potable* liste les étapes suivantes : captage-dégrillage-tamassage-pré chloration pré ozonation-floculation-coagulation-filtration sur sable-ozonation filtration -chloration-affinage-stockage- D'autres auteurs complètent à ce processus l'indispensable étape de contrôle qualité et contrôle sanitaire avant la livraison dans le réseau. C'est ce procédé industriel qu'on retrouve au niveau de la SONEB qui est l'opérateur national historique du secteur.

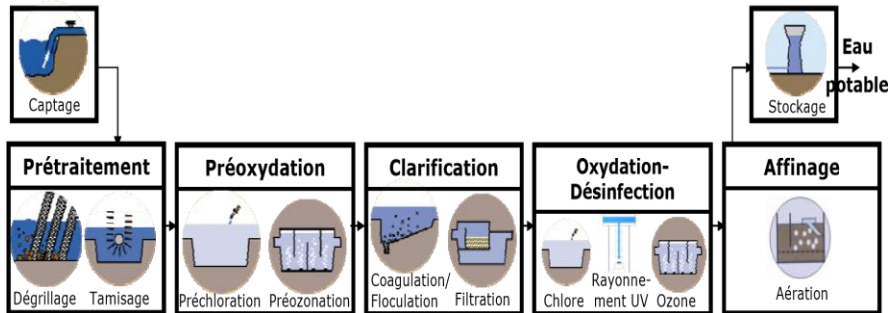


Figure 2: Station de production d'eau potable (Hernandez, 2007)

1- Prétraitement

Avant le traitement, l'eau doit être débarrassée d'éléments indésirables. Deux prétraitements principaux sont effectués : le *dégrillage*, qui élimine les gros objets (bois, débris), et le *tamassage*, qui retire des particules plus fines (feuilles, plastiques). Ces étapes initiales préparent l'eau pour les traitements suivants et sont essentielles pour éviter des obstructions dans les installations de traitement. Des auteurs comme Graham et al. (2009) ont souligné l'importance de ces étapes dans l'efficacité des systèmes de traitement.

2-Préoxydation

La préoxydation vise à éliminer les particules colloïdales restantes après le prétraitement. Cela peut être réalisé par plusieurs méthodes :

- Pré-chloration : ajout de chlore, efficace mais peut générer des sous-produits indésirables.
- Dioxyde de chlore : un oxydant plus puissant, évitant certains des problèmes du chlore, mais plus coûteux.
- Ozone : détruit les matières organiques et a un effet virucide, bien qu'il soit également plus cher. Selon Srinivasan (2010), cette méthode est une alternative efficace à la pré-chloration.

3-Clarification

La clarification élimine les matières en suspension et les matières organiques dissoutes. Elle inclut plusieurs étapes :

- Coagulation : déstabilise les colloïdes par neutralisation de leur charge électrique. La quantité de réactif doit être optimisée pour éviter des coûts supplémentaires.
- Floculation : agglomération des particules pour faciliter leur élimination par décantation ou filtration.

Des chercheurs comme Dégremont (2005) ont mis en évidence l'importance d'un contrôle rigoureux des processus de coagulation pour garantir la qualité de l'eau.

4- Oxydation-Désinfection

La désinfection est la dernière étape avant distribution, visant à éliminer les micro-organismes pathogènes. Les principaux désinfectants sont le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone et le rayonnement UV. L'efficacité dépend de la concentration et du temps de contact, une notion soulignée par Clark et al. (2002). Bien que des germes banals puissent subsister, l'eau est considérée potable si les standards de désinfection sont respectés.

5- Affinage

Le traitement final ajuste l'équilibre calco-carbonique de l'eau. Les méthodes incluent :

- Élimination du CO₂ par aération ou ajout de bases pour augmenter le pH.
- Traitement d'une eau incrustante par ajout d'acides.

Les travaux de Masselein (1999) montrent que cet ajustement est crucial pour prévenir la corrosion et les dépôts dans le réseau de distribution.

6- Coagulation-Floculation

La coagulation et la floculation sont des étapes essentielles pour éliminer les colloïdes, qui sont trop légers pour se déposer par gravité. La coagulation neutralise les charges des particules, tandis que la floculation les agrège pour faciliter leur élimination. Ces processus sont fondamentaux pour la qualité de l'eau traitée, comme l'indiquent les recherches de Masschelein (1999).

Chaque étape du traitement de l'eau, des prétraitements à l'affinage, est cruciale pour garantir une eau potable de qualité. Bien que les méthodes modernes soient souvent utilisées, des alternatives traditionnelles existent et peuvent être efficaces, soulignant la diversité des approches dans le traitement de l'eau potable.

2-1. Aperçu de la littérature scientifique sur l'approvisionnement en eau potable et l'apport des privés locaux

Les réflexions sur l'eau traversent l'histoire et touchent de nombreux courants idéologiques et philosophiques. Avant les débats des scientifiques et des décideurs contemporains, les religions anciennes, qu'elles soient importées ou locales, ont déjà largement exploré ce sujet. Par exemple, dans la Bible, Moïse fait jaillir de l'eau dans le désert pour apaiser la soif des Israélites en route vers Canaan (Exode 17, 1-7). L'eau est également présentée comme un agent de purification, comme le montre le baptême pratiqué par Jean-Baptiste (Jean 1, 26-35). Dans le Coran, l'eau est décrite comme essentielle à la vie et à la croissance des cultures (Sourate 5, 9-10 ; Sourate 21, 30). De plus, dans les cultures africaines, l'eau est parfois considérée comme une divinité, notamment sous le nom de « Mamy Water » qui compte de nombreux adeptes au Bénin et dans le monde.

Face à ce consensus religieux sur l'importance de l'eau, qu'en dit la communauté scientifique ? L'eau est cruciale pour la consommation, l'agriculture et l'industrie, et sa gestion est un enjeu clé du développement mondial. La littérature scientifique met en avant plusieurs défis liés à l'approvisionnement en eau potable : la pénurie due à la croissance démographique et aux changements climatiques, la pollution par les nitrates et les pesticides, la nécessité d'une solidarité envers les plus démunis, la gouvernance inclusive, l'acceptation des coûts par les consommateurs, et les questions de privatisation et de décentralisation des services d'eau.

L'eau, source de vie et de développement :

« *The future of biosphere as a sustainable habitat for mankind will be framed by how effectively we manage our water: water in our rivers, lakes and aquifers, water in our soils; water which sustains our incredible biodiversity and ecosystems and most of all, the water that we humans use to live, eat and consume.... Community growth and decline was therefore intrinsically coupled to the availability of water* » (Alexander Lane and al.2017)

Cette préoccupation fondamentale est d'ailleurs inscrite comme le sixième objectif de développement durable (ODD 6) de l'ONU à l'horizon 2030. Politiques, scientifiques, chercheurs et activistes sociaux ne s'y trompent guère et on note un énorme engouement dans la littérature pour ce sujet. Un engouement justifié entre autres par l'impact de l'eau potable sur la santé humaine.

Le Pr Ki-Zerbo (2006) livrant les conclusions de ses travaux sur les bénéfices de l'amélioration de l'approvisionnement en eau potable pour les ménages de la ville de Parakou (Bénin) constate : « les bénéfices générés par l'approvisionnement en eau potable sont nombreux. Parmi les plus importants, il y a les bénéfices en termes de santé publique, les bénéfices en termes de gain de temps et ceux en termes d'économie de ressources financières pour les ménages. Ces derniers sont souvent ignorés. Ce bénéfice traduit le coût d'accès à l'eau potable pour les ménages ne disposant de branchement individuel. Il est supérieur aux prix de vente d'un mètre cube par la SONEB...L'étude a montré en effet que les ménages ne disposant de branchement individuel d'adduction d'eau potable achètent l'eau à des prix très élevés sans commune mesure avec le prix de vente de l'eau par la SONEB. Cette étude soulève aussi le problème de la capacité de certains ménages pauvres à payer pour l'eau potable et vient remettre en cause les subventions accordées aux sociétés distributrices d'eau potable ».

Si donc l'utilité de l'eau potable sur la santé et tous les usages est indéniable, il est évident qu'une frange importante des humains en sont privés ou y ont accès de manière très difficile malgré pourtant une grande disponibilité des ressources en eau. Ces difficultés d'accès sont aussi évoquées dans la conclusion des travaux

des chercheurs Hountondji, Nouatin, Moumouni, Nansi & Krukkert (2022) dans certains quartiers périphériques de Parakou qui constatent que les ouvrages d'approvisionnement en eau potable utilisés sont des forages à motricité humaine qui sont majoritairement à une distance de moins de 500 mètres du domicile des usagers avec un temps moyen de collecte d'au moins 30 minutes y compris la file d'attente mais avec un service d'eau qui n'est pas permanent dans toutes les localités.

Menace de pénurie malgré de grandes réserves hydriques ?

Le Bénin, en dépit de la forte croissance démographique et de l'effet négatif des changements climatiques sur la pluviométrie, demeure relativement à l'abri dans ce domaine ; environ 13,106 milliards de mètres cubes par an de disponibilité en eau non compris les apports du fleuve Niger et moins de 2% des eaux souterraines sont utilisées chaque année pour la consommation en eau potable (PNE Bénin 2008).

Pourtant, la situation réelle de l'AEP n'autorise guère un optimisme aveugle. De par le monde et même dans des pays développés, on note encore des difficultés d'accès à l'eau potable, des pénuries et des problèmes de pollution de l'eau (MARLEVAL 2020).

La fourniture de l'eau potable : un service public par excellence

Pendant longtemps, la question de l'eau a été idéologiquement dominée par l'approche par le service public d'où la prépondérance des régies publiques dans les modes de gestions de l'eau potable (Philippe Hugon, 2007).

A titre illustratif, au Bénin, la question de l'AEP surtout en milieu urbain est restée pendant longtemps une chasse gardée de la Société Nationale des Eaux du Bénin, une société d'Etat dérivée de la scission de l'ancienne et défunte Société Béninoise d'Energie et de l'Eau. Pour les défenseurs de cette approche caractérisée par une gestion centralisée, l'eau est un bien public et sa gestion ne peut que relever de la puissance publique pour plus d'équité.

Si cette approche a permis de faire des avancées notables, les limites apparaissent très vite. L'eau potable, un bien public commun est aussi un bien onéreux. Elle a un coût et suppose de gros investissements. Malgré les modes de financements publics par la tarification des abonnés au réseau public, les allocations budgétaires annuelles des Etats et l'aide internationale pour le développement, l'approche par le service public n'a malheureusement pas suffi pour combler les attentes (Payen, 2017).

Les sociétés d'Etat en charge de l'eau se sont vite retrouvées confrontées à des cas de surendettement et de corruption, en plus de l'exclusion des ménages pauvres et des quartiers précaires ; ceci, en dépit de la bonne intention des branchements dits « sociaux ». Et en fait de mauvaise gestion, il faut dire que bien souvent en Afrique, l'Etat lui-même et ses sociétés, de grandes entreprises privées et des hommes politiques influents font partie des mauvais payeurs.

L'eau potable du robinet public, ressource insuffisante et inégalement répartie

Odulami (2009) dresse un constat sans appel : « la méthode conventionnelle ne fonctionne pas et les ménages à faibles revenus font recours à des pratiques indirectes d'accès à l'eau potable comme la revente d'eau de robinet »

De plus en plus de marginalisés qui ne peuvent payer le service public de l'eau ou qui en sont exclus pour d'autres motifs

C'est bien cette exclusion tacite que dénonce l'étude de Kelome et al. (2012) : « Au Bénin, malgré leur désir d'avoir de l'eau du réseau public, la plus part des ménages n'ont pas les ressources financières pour le faire ». On comprend donc pourquoi il y a autant de disparités entre individus d'une même agglomération et entre le milieu urbain et les zones rurales.

Les privés à la rescousse de l'offre de l'eau potable

Comme pour d'autres services publics, les insuffisances de l'état ouvrent un champ de possibilités pour des solutions alternatives qui émergent localement au sein des communautés. D'où, selon Marteau et al., (2010) « la naissance de petits opérateurs locaux privés de production et de vente d'eau qui investissent l'environnement urbain et coexistent avec des pratiques rurales d'accès direct auprès de sources privées et publiques »

Bonnassieux (2011) se concentre sur les enjeux de gouvernance liés à l'émergence de producteurs privés au Bénin et plus globalement en Afrique de l'Ouest. Il analyse les politiques publiques et leur impact sur ces acteurs. Selon lui, si ces producteurs privés locaux peuvent offrir des solutions rapides à la crise de l'eau, leur pérennité dépend de l'existence d'un cadre réglementaire qui garantit la qualité de l'eau et la protection des consommateurs. Il souligne également l'importance de la coopération entre les producteurs privés et les autorités locales pour assurer un accès équitable à l'eau potable. Banon (2011) examine les mécanismes par

lesquels les producteurs locaux privés contribuent à l'approvisionnement en eau au Bénin. Il souligne que ces producteurs, souvent motivés par des considérations économiques, ont développé des solutions innovantes pour répondre aux besoins locaux. Cependant, leur émergence soulève des questions sur la régulation et la qualité de l'eau fournie. Banon met en avant des cas où des producteurs ont amélioré l'accès à l'eau, mais également des situations où l'absence de supervision a conduit à des problèmes de contamination.

D'autres recherches mettent en lumière le rôle des producteurs privés dans la transformation du paysage de l'approvisionnement en eau au Bénin. Des études ont montré que ces acteurs peuvent, dans certains cas, pallier l'inefficacité des services publics en fournissant une eau de meilleure qualité à des prix compétitifs. Cependant, ces initiatives sont souvent ponctuées par des défis, tels que l'absence de régulation formelle et la nécessité d'une reconnaissance légale de leurs activités.

Avant même que les petits privés locaux n'apportent leur contribution à l'offre de l'eau potable, le sommet de Dublin (1998) a ouvert le chemin aux grands capitaux privés pour accompagner l'approvisionnement en eau potable. La marchandisation et la privatisation de l'eau sont donc apparues comme une des approches principales qui éclairent les interventions dans le secteur.

Des visions ou approches majeures qui influencent les orientations du secteur ; La privatisation à grande échelle comme option salutaire ?

L'utilisation de capitaux privés pour améliorer l'accès à l'eau potable est devenue essentielle, soutenant l'idée d'une gestion de l'eau par le marché. Face à l'incapacité des États à financer les besoins croissants, des multinationales comme Veolia et Suez, encouragées par la Banque mondiale, investissent en Afrique. Dans des régions non desservies, des opérateurs privés vendent de l'eau, comme au Maroc et en Algérie. Bien que cette approche ait amélioré l'approvisionnement en eau (AEP) dans certaines villes, elle a également entraîné une hausse des prix pour les ménages, malgré les tentatives de régulation des États.

Le recouvrement des coûts devient difficile pour les opérateurs privés, qui font face à des risques financiers sans retour sur investissement. L'ONU souligne que les États ne peuvent atteindre l'Objectif de Développement Durable 6 d'ici 2030 sans l'aide de financements privés. La question clé est de savoir comment intégrer ces capitaux sans nuire aux ménages pauvres ni céder la gestion de l'eau à des intérêts privés.

Au Bénin, bien que la SONEB et l'ANAEP-MR dominent le secteur, de petits opérateurs privés émergent, produisant de l'eau conditionnée, ce qui réduit le chômage mais pose des problèmes de santé et environnementaux. Malgré les bénéfices, certains critiquent la marchandisation de l'eau, considérée comme un bien commun essentiel, devant être accessible à tous, indépendamment de leur statut socio-économique.

Levée de bouclier de certains politiques et activistes sociaux sur la privatisation de l'eau

Pour les mouvements altermondialistes généralement opposés au diktat du modèle capitaliste, l'eau est un droit et un bien commun non marchand. Ils mènent des actions pour appuyer les déshérités des bidonvilles qui en sont injustement privés en plus de leur quasi exclusion des schémas d'urbanisation et d'aménagement. Pour Petrella (2000), membre du conseil scientifique d'Attac « *l'accès à l'eau en quantité et qualité suffisantes à la vie est un droit humain et social imprescriptible* ». Pour lui, la solution pour une gestion équitable de l'eau réside dans la remunicipalisation des services et la création d'un observatoire mondial des droits de l'eau. L'association « les Amis de la Terre », un autre mouvement activiste altermondialiste a mené un combat farouche contre les prémices de la privatisation de l'eau dans le cadre des négociations de l'accord général sur le commerce des services. Au cours d'un rendez-vous international des altermondialistes à Bamako (2006) initié par l'association « Alternative Espaces Citoyens », on apprend que « la privatisation de la Société Nationale des Eaux (devenue en 2001 la Société d'Exploitation des Eaux du Niger, contrôlée par Vivendi Water), imposée par la Banque mondiale, a entraîné une hausse des tarifs de plus de 20 % alors que 60 % des Nigériens vivent en dessous du seuil de pauvreté ».

Pour les partisans de cette approche éthique de la gestion de l'eau, l'eau potable, droit universel élémentaire pour chaque individu ne devrait donc pas être vendu et surtout confiée à une gestion privée. Les communes, plus proches des populations devraient jouer les premiers rôles avec l'implication directe des associations de consommateurs qui devraient avoir un réel pouvoir de décision et de contrôle. Ce courant de pensée proche de la gauche politique contribuera à alimenter de fortes résistances populaires violentes qui aboutiront à la résiliation de certains contrats juteux dans des pays comme la Bolivie (Uhel, 2010).

Le Président bolivien, Evo Morales (2006) , au cours de son investiture s'exprimera d'ailleurs sans équivoque en ces termes sur la question de l'eau : « *sans eau, nous ne pouvons pas vivre. C'est pourquoi l'eau ne peut faire l'objet d'un commerce privé ; à partir du moment où il y a commerce privé, les droits de l'homme sont bafoués. L'eau doit relever du service public* ». Le secteur public, garant de l'intérêt général devrait donc, selon cette approche théorique, conserver de bons droits la propriété, le contrôle, le financement et la gestion de l'eau.

Une position qui, pour Bonnassieux (2011), reste une utopie non viable car impossible sans contrepartie financière et l'implication des privés.

Néanmoins, même les plus acharnés défenseurs du droit inaliénable de tous à ce liquide vital tempèrent et admettent progressivement un effort financier minimum de chaque bénéficiaire car, même « *si l'eau n'a pas de prix, elle a un coût !* », reconnaissait Mitterrand (2011), icône du mouvement altermondialiste et Présidente de la Fondation France Libertés.

Vers la reconnaissance d'un droit humain ?

Au fil des années, le droit à l'eau potable s'affirme progressivement comme un élément essentiel de la dignité humaine. Qu'il s'agisse de personnes vivant dans la pauvreté, d'employés ou de prisonniers, chacun devrait avoir un accès libre et constant à l'eau potable pour préserver sa dignité. Les articles 5 et 19 de la Charte africaine des droits de l'homme soulignent cette dignité, tandis que les articles 16 et 18 insistent sur la nécessité de garantir la santé pour tous. De plus, l'article 15 de la Convention africaine des droits de l'homme affirme que les États doivent assurer aux femmes l'accès à une alimentation saine et à l'eau potable.

Bien que des rencontres internationales comme celles d'Istanbul, Rio et Johannesburg aient commencé à reconnaître le droit à l'eau comme un droit humain fondamental, c'est le 28 juillet 2010, lors de la 64^e Assemblée générale des Nations Unies, que ce principe a été affirmé sans ambiguïté. La résolution adoptée déclare que « le droit à une eau potable salubre et propre est fondamental pour le plein exercice du droit à la vie et de tous les droits de l'homme ». Toutefois, certains États, tels que l'Éthiopie, le Canada et les États-Unis, ont choisi de s'abstenir de voter, craignant que cela n'entraîne des obligations juridiques trop contraignantes. En réponse, la déclaration de la conférence Rio +20 rappelle que le droit à l'eau doit être réalisé progressivement, dans le respect de la souveraineté nationale.

Malgré ces réticences, le droit à l'eau potable est désormais reconnu comme un droit humain fondamental. Les Objectifs de Développement Durable adoptés en 2015 confirment cette affirmation, appelant les États à garantir l'accès à l'eau potable et à l'assainissement pour tous, en éliminant les inégalités d'accès, notamment pour les groupes marginalisés.

Le Bénin participe à cette évolution mondiale en affirmant, dans la loi 2010-44 du 24 novembre 2010, que « chaque citoyen béninois a le droit de disposer de l'eau pour ses besoins essentiels et sa dignité ». Cependant, il est crucial de reconnaître que les réalités varient selon les pays en matière de ressources en eau et de capacité d'exploitation. Des solutions pragmatiques adaptées aux contextes locaux doivent être privilégiées, tout en garantissant la qualité de l'eau potable.

Le pragmatisme comme solution à la gestion de l'eau

Depuis toujours, les humains s'adaptent et s'organisent en fonction de leur environnement et des ressources en eau disponibles. La question de l'approvisionnement en eau potable (AEP) n'est pas abordée de la même manière dans des milieux arides, des déserts, des régions montagneuses, des zones lacustres ou dans des territoires glaciers, ce qui a conduit à l'émergence du pragmatisme environnemental comme approche concrète de gestion de l'eau. Le pragmatisme philosophique encourage l'analyse des interactions entre les humains pour comprendre leur rapport au monde. Contrairement à d'autres approches qui jugent les comportements de manière abstraite, le pragmatisme soutient qu'une théorie ou un modèle d'action n'a de valeur que s'il se manifeste dans les comportements réels. Ce courant, inspiré par Peirce (1878) et Létourneau (2010), a donné naissance à la théorie du pragmatisme environnemental, visant à surmonter les oppositions philosophiques courantes dans ce domaine (Light et Katz, 1996). Les partisans de cette théorie estiment que les solutions aux enjeux écologiques doivent émerger de représentations philosophiques variées et conciliables, tout en reconnaissant que le contexte influence l'action et que le partage intégral des traditions et expériences est impossible (Minter, 2006). Il n'existe donc pas d'éthique universelle applicable à toutes les situations de gestion de l'eau.

Dans certains endroits, la gestion de l'eau est presque entièrement privatisée et réussit bien, mais cette approche peut ne pas convenir aux pays très pauvres. Dans les pays avancés, où les réseaux d'adduction d'eau

potable sont denses, les défis diffèrent de ceux rencontrés dans des régions à relief accidenté. Au Bénin, bien que les ressources en eau soient relativement abondantes, des pays du Golfe, enrichis par le pétrole, doivent investir massivement pour répondre aux besoins en eau potable de leurs populations. Il est donc crucial que chaque approche de gestion de l'eau soit guidée par l'environnement et le contexte local, plutôt que par des normes internationales uniformes. Cela explique pourquoi l'Organisation mondiale de la santé publie des « directives » tout en laissant aux pays le soin d'adopter leurs propres « normes » de potabilité. De nombreux pays privilégient une approche intégrée de gestion des ressources en eau, en suivant les recommandations d'instances internationales. Le Bénin a adopté la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) pour optimiser la gestion de l'eau en tenant compte de ses réalités environnementales et socio-culturelles. Il est urgent d'agir, surtout face à la tendance croissante de nombreux consommateurs à délaisser l'eau du robinet, fournie par le réseau public (SONEB), au profit d'eaux conditionnées en sachet, parfois dangereuses et issues de sources contaminées (puits traditionnels, forages, etc.), mais perçues comme inoffensives. De nombreux opérateurs privés opèrent illégalement, souvent sans mesures de sécurité sanitaire adéquates, ce qui augmente les risques. Ainsi, la question de l'eau reste un enjeu de développement crucial, suscitant un vif intérêt dans la littérature scientifique. Ce sujet préoccupe tant les gestionnaires des politiques publiques que les chercheurs, les activistes sociaux, la société civile et les populations bénéficiaires, particulièrement en Afrique.

Poussée des privés : besoins réels, mais impacts sanitaires et environnementaux : Les recherches menées par Lantefo et Zogo (2016) sur la ville de Parakou ont permis d'évaluer le degré de pollution dans le barrage de l'Opkara, utilisé par la SONEB pour la captation d'eau brute. Cependant, la majorité de ces études se sont concentrées sur la SONEB, opérateur public traditionnel, ainsi que sur le rôle des communes et de certains partenaires. Bien que de petits opérateurs privés aient diversifié l'offre d'eau potable en sachet depuis plus d'une décennie, Akiyo (2017) et Hoteyi (2014) se distinguent en ayant examiné les conditions d'activité de ces acteurs, tirant la sonnette d'alarme après des observations préoccupantes sur les « pure water » à Parakou et Porto-Novo. Les travaux d'Akiyo ont également permis de mieux comprendre les nouveaux acteurs dans le secteur de l'eau en sachet à Parakou et les pratiques risquées qui compromettent la santé publique. Il reste à savoir si, après plus de cinq ans, les autorités locales et les acteurs concernés ont pris des mesures suite à ces résultats alarmants et si un changement de comportement est perceptible. De plus, la littérature scientifique ne fournit pas d'informations sur la connaissance, par les opérateurs privés locaux, de l'obligation de disposer d'un Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau (PGSSE). On peut douter de la faisabilité d'une telle mesure dans le contexte béninois. Si certains opérateurs sont conscients de cette obligation, il serait pertinent de vérifier sa mise en œuvre rigoureuse sur le terrain. Depuis une dizaine d'années, la vente d'eau en sachet prospère dans de nombreuses villes africaines, y compris au Bénin, car elle répond à un besoin réel. Comme l'indique Diagne (2008), « l'eau en sachet répond aux exigences d'accessibilité et de disponibilité permettant aux consommateurs d'éteindre leur soif rapidement et de satisfaire d'autres besoins ménagers ». Abdoul-Ramane (2020) souligne que, dans la ville de Parakou, environ 40 % de la population éprouve des difficultés à obtenir de l'eau potable, ce qui les pousse à recourir à divers types d'eau. Concernant les défaillances des infrastructures d'adduction d'eau, Donfack Nkzem et al. (2020) notent que « la dégradation des infrastructures et l'inaccessibilité à l'eau potable ont poussé les habitants à se fournir par d'autres moyens, souvent au détriment de leur santé ». Ces analyses rejoignent les conclusions d'Akiyo (2017), qui a étudié la consommation d'eau en sachet à Parakou : « l'eau en sachet est devenue un produit de grande consommation, mais elle soulève des inquiétudes en raison des risques sanitaires liés à son hygiène, de la production à la commercialisation ». Akiyo plaide pour une réglementation stricte dans la production d'eau en sachet afin de garantir la qualité, incluant des formations pour le personnel et un contrôle rigoureux par des organismes de l'État. Bien que cette activité améliore l'offre d'approvisionnement en eau potable (AEP) et crée des opportunités d'emploi, elle engendre également des risques de contamination préoccupants pour la santé des consommateurs. Une étude de Hoteyi (2014) à Porto-Novo révèle que 90 % des producteurs d'eau en sachet n'ont pas reçu d'autorisation et n'ont aucune connaissance de la qualité de l'eau qu'ils produisent. Les analyses montrent également des niveaux alarmants de nitrates dans les eaux de puits traditionnels, illustrant le lien entre les pratiques de production et la non-conformité aux normes d'hygiène.

Représentations sociales sur les différents modes d'accès à l'eau potable : Pour Tchibozo (2012) les représentations culturelles influencent les perceptions de l'eau, son utilisation et les conflits potentiels qui

en découlent. Elle souligne également l'importance d'intégrer les savoirs locaux dans la gestion des ressources en eau pour promouvoir une approche durable et équitable. Dans le même sillage, Djossou (2010) pense que les traditions et les croyances locales façonnent les attitudes envers l'eau, notamment en ce qui concerne sa purification et son usage. Elle insiste sur l'importance de reconnaître ces éléments culturels pour élaborer des politiques de gestion de l'eau qui soient adaptées aux réalités locales et acceptées par les communautés. Dubois (2013) a analysé l'impact des perceptions des consommateurs sur leurs choix en matière d'eau et conclut que les facteurs psychologiques, tels que la confiance et la notoriété des marques, jouent un rôle clé dans la décision d'achat. Dubois souligne également que la provenance de l'eau (eau de source, eau du robinet) influence fortement la perception de la qualité. Les consommateurs ont tendance à privilégier les marques perçues comme plus sûres ou de meilleure qualité, même si ces perceptions ne sont pas toujours fondées sur des critères objectifs. Ruiz (2016), quant à elle se concentre sur les influences socio-culturelles sur la perception de la qualité de l'eau. Elle conclut que les croyances locales, les expériences passées et les recommandations sociales sont des facteurs déterminants dans la manière dont les consommateurs évaluent l'eau. Ruiz met en avant que la perception de la sécurité de l'eau, qu'elle soit du robinet ou en bouteille, est souvent façonnée par des narrations culturelles et des témoignages communautaires. Ses travaux soulignent l'importance de la communication et de l'éducation pour améliorer la confiance des consommateurs dans les sources d'eau publique. Ces conclusions montrent que les perceptions des consommateurs sont complexes et influencées par une multitude de facteurs, ce qui a des implications importantes pour la gestion et la communication autour de l'eau potable.

Selon les modes d'accès, les populations au Bénin ont ainsi des appréciations variées sur l'approvisionnement en eau potable. D'aucuns pensent que l'eau de boisson issue du robinet du réseau public, quels que soient les traitements subis ne peut être plus potable que l'eau de pluie collectée sur les toits de maisons ou l'eau des puits et forages. La senteur du chlore ou une certaine coloration de cette eau sont perçues comme signes évidents d'impureté de l'eau. A contrario pour ce type de consommateurs, les eaux claires, sans odeur, agréable au goût et provenant des installations situées non loin des tas d'ordures, toilettes, ateliers déversant des huiles au sol, sont probablement des eaux plus potables ! il y va de même pour les eaux conditionnées en bouteilles et sachets ; les populations les soupçonnent d'être de meilleure qualité du simple fait de leur conditionnement et de l'apparence.

Evolution historique de la politique d'approvisionnement en eau potable au Bénin

La politique d'approvisionnement en eau potable (AEP) au Bénin a connu d'importantes évolutions, comme le souligne Philippe Lavigne Delville (2015), qui les structure en trois phases distinctes.

1. **Phase initiale** : À l'époque coloniale et postcoloniale, l'État a investi dans la construction de puits et de forages, considérant l'eau comme un bien public à gérer et maintenir. La Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement (DIEPA) lancée par l'ONU en 1980 a élargi l'accès à l'eau, en mettant l'accent sur les forages manuels.

2. **Gestion communautaire** : Avec l'introduction des politiques d'ajustement structurel, la gestion des équipements a été transférée aux communautés. Cette gestion communautaire a souvent rencontré des difficultés, comme l'indiquent Bonnassieux et Gangneron (2011), qui soulignent que les performances des comités de gestion étaient très variables. Dans de nombreux cas, cette gestion a abouti à une privatisation de fait, où le contrôle des équipements était exercé par des clans ou des leaders d'opinion influents, ce qui a compromis l'efficacité de la gestion. En parallèle, l'État a dû régulièrement réhabiliter des infrastructures défectueuses dont le statut juridique restait flou.

3. **Commercialisation** : À partir de 1992, avec la Conférence de Dublin, l'eau est devenue un bien marchand. Cela a mené à la mise en place de mini-adductions d'eau destinées à des villages et petites villes. Ce modèle, basé sur un forage motorisé et un réseau de bornes fontaines, a été appliqué avec peu de succès aux forages manuels existants.

En 2003, la création des communes au Bénin a redéfini la gestion de l'eau, leur confiant la responsabilité d'assurer l'extension et le bon fonctionnement des infrastructures. Cependant, cette délégation n'a pas permis d'atteindre une maintenance durable des équipements, et les critiques sur la gestion communautaire se sont intensifiées au cours des années 2000. Malgré une volonté politique affirmée, le taux d'accès à l'eau potable dans les zones rurales est resté faible, atteignant seulement 42 % en 2017, alors que l'objectif était

de couvrir au moins la moitié de cette population. La SNAEP-MR 2017-2030 a été lancée pour mobiliser des financements et améliorer l'accès à l'eau potable d'ici 2024. Le Bénin adopte une approche multi-acteurs, intégrant à la fois les initiatives privées et traditionnelles, dans le cadre d'une politique globale visant à garantir l'accès à l'eau pour tous, tout en respectant les normes de qualité et de sécurité sanitaire. Cette vision est soutenue par un cadre législatif et institutionnel défini, s'inscrivant dans les objectifs de développement durable de l'ONU.

Le Bénin et l'approche « GIRE » : Le document de la Politique Nationale de l'Eau (PNE Bénin, 2008) définit la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) comme une approche qui concilie les diverses utilisations et fonctions de l'eau, en tenant compte des impacts sur les personnes et l'environnement. L'objectif est d'établir un cadre national pour une gestion durable des ressources en eau, qui optimise le bien-être économique et social tout en préservant les écosystèmes. La GIRE repose sur une vision globale des ressources en eau, intégrant tous les acteurs concernés et favorisant une gestion coordonnée des ressources en eau, des terres et connexes, dans un cadre participatif. Elle doit également tenir compte des enjeux liés au changement climatique et aux variations de la pluviométrie. Malgré des efforts, les résultats de la GIRE au Bénin demeurent mitigés.

Les principes de la GIRE, établis lors de la Conférence de Dublin en 1992, incluent la reconnaissance de l'eau comme une ressource limitée, l'importance de l'approche participative, le rôle central des femmes dans la gestion de l'eau, et la dimension économique de l'eau. Ces principes ont été élargis en cinq pour mieux intégrer les liens entre économie, société et environnement, en soulignant l'équité, la mobilisation harmonisée des ressources, et la protection des ressources.

Enfin, la sécurité sanitaire de l'eau potable est essentielle, et la Direction Nationale de Santé Publique est responsable du contrôle de sa qualité au Bénin.

Le PGSSE : un outil de réglementation de la production et de la distribution de l'eau potable au Bénin : Robert Bos, biologiste néerlandais et ancien coordinateur du programme Eau, Assainissement et Santé de l'OMS (2009-2013), souligne que les Plans de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau (PGSSE) sont essentiels pour identifier les risques liés à l'eau potable et pour établir des priorités d'amélioration des normes de santé. En 2012, le Bénin a mis en place une Stratégie Nationale de Surveillance de la Qualité de l'Eau, obligeant les producteurs d'eau à élaborer un PGSSE et à réaliser des inspections sanitaires régulières. Le PGSSE est un outil crucial pour prévenir la contamination de l'eau et prend en compte toutes les étapes, de la captation à la distribution. Son objectif est d'assurer la sécurité sanitaire de l'eau distribuée. Il est requis pour obtenir l'autorisation de vente d'eau, et son application offre plusieurs avantages, tels qu'une meilleure gestion des risques, une rationalisation des procédures, et de meilleures relations avec les parties prenantes. Les entités concernées par cette obligation incluent la SONEB et divers producteurs d'eau, tandis que les utilisateurs domestiques ne sont pas soumis à cette exigence. L'élaboration d'un PGSSE implique la formation d'une équipe multidisciplinaire comprenant des experts du secteur, afin d'évaluer les installations et les risques. Le PGSSE doit suivre sept étapes clés, allant de la constitution de l'équipe à la planification des mesures de contrôle. La mise en œuvre de ce plan permet de garantir que l'environnement des installations est sain et que les infrastructures sont adéquates. Un PGSSE défaillant peut compromettre la qualité de l'eau et, par conséquent, la santé des consommateurs.

La demande croissante en eau potable, notamment dans les zones urbaines en pleine croissance, pose un défi supplémentaire. Alors que la SONEB et l'ANAEP-MR sont soumises à un suivi rigoureux, les petits producteurs privés sont moins bien audités, ce qui pourrait accroître les risques sanitaires.

Significations socio-culturelle et enjeux économiques de l'AEP au Bénin

L'eau occupe une place essentielle dans les cultures et croyances béninoises, comme l'indiquent plusieurs études. Pour beaucoup, elle revêt une dimension sacrée, intégrée dans de nombreux rites et cérémonies. Par exemple, lors d'événements officiels, il est courant de verser de l'eau sur le sol pour que les invités l'enjambent, symbolisant un souhait de paix pour leur séjour. Dans les pratiques religieuses, l'eau est utilisée pour des baptêmes, des initiations et des séances de purification, témoignant de son importance rituelle. Takpé (2020) souligne la déification de l'eau chez les populations xweda, affirmant que « l'eau joue des rôles importants dans certaines pratiques coutumières et culturelles. Elle symbolise la paix et incarne une présence sacrée dans les pactes entre l'homme et le monde des invisibles ». Bouakou (2015, p. 42) ajoute que l'eau possède des vertus de purification et de régénération, essentielles dans le contexte spirituel. Elle est

également un symbole de réconciliation, où les personnes en conflit partagent l'eau pour conjurer les différends.

Il est aussi important de noter que, historiquement, la corvée de l'eau incombe principalement aux femmes et aux enfants, qui parcourent souvent plusieurs kilomètres pour accéder aux points d'eau. Ces trajets, bien que pénibles, favorisent la création de liens entre femmes et peuvent offrir des opportunités de rencontres discrètes. Ainsi, l'eau n'est pas seulement un besoin matériel, mais un élément fondamental tissant des relations sociales au sein des communautés. Indispensable pour l'agriculteur, l'industriel ou les usages domestiques, elle l'est aussi pour l'éleveur d'où parfois des usages antagonistes sources de conflits récurrents. La disponibilité de l'eau impose parfois des couloirs de transhumance aux éleveurs qui cherchent du fourrage nourrissant pour leurs animaux avec suffisamment de points d'eau pour se désaltérer. Normal donc que la raréfaction ou l'insuffisance de cette ressource si précieuse entraîne des conséquences fâcheuses.

De nombreux facteurs expliquent les difficultés pour rendre cette ressource disponible en abondance pour tous les usages. Le document d'opérationnalisation du plan d'action national de gestion intégrée des ressources en eau (PANGIRE 2015) met en évidence plusieurs enjeux majeurs liés à l'eau et à ses usages :

- Démographie en forte croissance.
- Demande en eau croissante.
- Répartition inégale de l'eau selon les contextes géographiques et hydrogéologiques.
- Dégradation de la ressource, notamment par la pollution agricole, industrielle et domestique.
- Perturbations climatiques affectant le cycle de l'eau (sécheresses, inondations, vents violents).
- Conflits liés à l'usage de l'eau, comme ceux entre agriculteurs et éleveurs.
- Manque de connaissance et de suivi des ressources en eau.
- Dépendance des financements de la gestion de l'eau à l'aide extérieure.
- Mauvaise gestion des forages artésiens et faible valorisation de ces ressources.
- Ensablement des cours d'eau et des plans d'eau.
- Occupation illégale du domaine public de l'eau et dégradation des zones humides.
- Perte d'écosystèmes vitaux et méconnaissance de la valeur économique de l'eau.
- Faible mobilisation et planification des ressources en eau.
- Absence de statistiques sur les demandes et usages de l'eau.
- Non-application des mécanismes de financement de la gestion de l'eau.
- Insuffisance de personnel compétent pour la gestion de l'eau.
- Pratiques agricoles non durables.
- Faible capacité de gouvernance et de plaidoyer pour la gestion de l'eau.
- Mauvaise gestion des aquifères côtiers, notamment par intrusion saline.
- Pollution des eaux et inondations.

En plus des nombreuses études sur l'accès à l'eau (Yetongnon 2020), (Hountondji, Nouatin, Moumouni, Nansi & Krukkert 2022) et sa qualité bactériologique et physico-chimique (Lagnika et al., 2014 ; Sourogou et al., 2022), des travaux au Bénin se sont intéressés à l'intérêt croissant de petits producteurs locaux privés pour l'offre de l'eau potable et les risques induits pour l'environnement et la santé humaine (Hoteyi 2014 ; Akiyo 2017 ; ki Zerbo 2006, Yetongnon 2020). Néanmoins, la littérature scientifique en ce qui concerne le Bénin, s'intéresse peu aux paramètres qui expliquent cette poussée des privés et les implications sous-jacentes sur le développement du marché de l'eau. Alors que depuis longtemps le pays avait des difficultés pour satisfaire la demande en eau potable, il est curieux de savoir pourquoi c'est seulement après 2010 que l'intérêt des petits privés locaux est devenu manifeste.

Pour la compréhension des dynamiques ou logiques en cours dans le secteur de l'approvisionnement en eau potable qui voient ces privés locaux gagner plus de terrain pour le meilleur et le pire, des travaux scientifiques qui évaluent l'impact de la réglementation, de l'attelage institutionnel et programmatique deviennent

opportuns et c'est ce qui motivent la présente recherche éclairée par quelques approches théoriques majeures.

Principales approches sur l'approvisionnement en eau potable

Bien que l'approvisionnement en eau potable soit un domaine qui a impliqué de nombreux contributeurs au fil du temps comme le démontre l'état des lieux ci-dessus, il peut être difficile d'attribuer des approches doctrinales spécifiques à des auteurs particuliers en raison de la nature collaborative et évolutive de ce domaine. Cependant, certains chercheurs, ingénieurs et experts ont joué un rôle clé dans le développement de concepts et de pratiques liés à l'approvisionnement en eau.

Voici un aperçu des grandes doctrines théorisées sur l'approvisionnement en eau potable :

1. **L'hygiène publique** : Cette approche repose sur le principe fondamental de l'accès à une eau propre pour prévenir les maladies d'origine hydrique. Elle a été largement promue par des pionniers de l'hygiène publique tels que John Snow, qui a démontré le lien entre l'eau contaminée et l'épidémie de choléra à Londres en 1854.

2. **L'ingénierie sanitaire** :

Cette approche met l'accent sur la conception et la construction de systèmes d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement pour garantir la qualité de l'eau. Elle repose sur des technologies telles que les stations de traitement de l'eau, les réseaux de distribution et les systèmes de collecte des eaux usées.

3. **La gestion intégrée des ressources en eaux (GIRE)** :

Cette approche théorique considère l'eau comme une ressource finie et met l'accent sur la gestion durable des ressources en eau. Elle encourage une approche holistique qui prend en compte les besoins en eau potable, l'agriculture, l'industrie, l'environnement et d'autres usages, tout en tenant compte de la disponibilité et de la qualité de l'eau.

4. **La gestion communautaire de l'eau** :

Cette approche met en avant la participation active des communautés locales dans la planification, la gestion et la maintenance des systèmes d'approvisionnement en eau. Elle vise à garantir que les besoins et les préoccupations des communautés sont pris en compte.

5. **L'accès universel** :

Cette doctrine vise à assurer l'accès équitable à l'eau potable pour tous, quel que soit leur statut social ou économique. Elle est au cœur des Objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies, en particulier l'ODD 6, qui vise à garantir l'accès à l'eau potable et à l'assainissement pour tous d'ici 2030.

6. **La durabilité environnementale** :

Cette approche insiste sur la nécessité de protéger les écosystèmes aquatiques et de préserver la qualité de l'eau tout en répondant aux besoins humains en eau potable. Elle met en garde contre la surexploitation des ressources en eau.

7. **La coopération internationale** : Dans un contexte de pénurie d'eau transfrontalière, cette doctrine encourage la coopération entre les nations pour gérer et partager les ressources en eau de manière équitable et durable. Des accords et des conventions internationales ont été élaborés pour aborder cette question.

8- **La marchandisation et de la privatisation de l'eau potable**

La Conférence internationale sur l'eau et l'environnement de Dublin (1992) a établi la marchandisation de l'eau en affirmant qu'elle a une valeur économique et doit être considérée comme un bien. Face aux difficultés des États à garantir durablement l'accès à l'eau potable, il est devenu clair que le traitement et la distribution de l'eau, bien que naturelle, engendrent des coûts que les seuls États ne peuvent supporter, surtout dans un contexte de croissance démographique. Malgré la reconnaissance par l'ONU que l'eau potable est un droit fondamental, les États peinent à mettre cette résolution en œuvre. Des entités telles que la Banque mondiale, des multinationales et certains gouvernements envisagent l'eau potable comme un besoin, comparable à d'autres biens de consommation, dont la satisfaction peut relever tant du secteur public que privé. Petrella (2011) souligne que l'eau, désormais traitée comme un produit commercial, perd son statut de don naturel, devenant une marchandise produite par des entreprises comme Veolia ou Coca-Cola. Ces perspectives ne sont pas exclusives et peuvent être combinées selon les contextes locaux et globaux, en fonction de la gouvernance, des ressources financières, de la technologie et de la sensibilisation du public.

La gouvernance de l'eau potable est donc influencée par diverses théories, et la dynamique du secteur est aussi façonnée par l'émergence d'initiatives communautaires et des privés locaux.

Les Théories spécifiques privilégiées dans la compréhension de cette étude

Outre les théories de la gestion intégrée des ressources en eaux (McGarry ; 2000), de la gestion communautaire de l'eau (De Sardan 2000 ; Bonnassieux 2010) , de l'hygiène publique (McNair, 1960) et du pragmatisme environnemental dans la gestion de l'eau (Meadows,1990) l'analyse de la présente étude a été fortement influencée par les théories suivantes :

1-Théorie de la gouvernance participative : Elle met en avant l'importance de l'engagement des acteurs locaux pour la durabilité et l'efficacité des systèmes d'approvisionnement en eau. La *théorie de la gouvernance* apporte un éclairage complémentaire en étudiant les mécanismes de décision et les interactions entre acteurs publics et privés (Olinor Olstrom 1990 ; Rhodes, 1996). Cette théorie est particulièrement utile pour comprendre comment les différentes parties prenantes négocient (au Bénin, d'un côté l'état central et ses bras opérationnels du secteur de l'eau que sont la SONEB et l'ANAEP-MR et de l'autre les opérateurs privés et les consommateurs) équilibrent leurs intérêts, ce qui est crucial dans un contexte où des opérateurs privés émergent pour combler les lacunes du secteur public. Cependant, cette théorie peut entrer en conflit avec la *théorie de la privatisation*, qui prône un transfert accru des services publics vers le secteur privé (Megginson & Netter, 2001). La gouvernance met l'accent sur la collaboration et la régulation multipartite, alors que la privatisation met davantage l'accent sur l'efficacité et la réduction du rôle de l'État. Dans la présente étude cette théorie a permis de comprendre comment les populations d'un village par exemple s'organisent pour obtenir un minimum de consensus sur le prix de l'eau payée quand l'ouvrage est collectif, la rationalisation de son utilisation par ménage surtout en saison sèche et son entretien durable.

2-La théorie de l'économie de la régulation (Posner, 1974; Peltzman, 1976) aide à comprendre la tolérance des institutions publiques envers les structures privées. Elle suggère que, dans un contexte de régulation insuffisante, les marchés informels prospèrent pour combler les lacunes laissées par le secteur public. La théorie de l'économie de régulation, met l'accent sur le rôle de l'État dans la régulation des marchés pour corriger les défaillances et garantir l'efficacité économique. Dans le contexte de l'approvisionnement en eau potable, cette théorie a eu plusieurs influences :

-Régulation des services publics : Posner soutient que les services publics, comme l'eau, nécessitent une régulation pour éviter les abus de monopole. Cela a conduit à des cadres réglementaires qui visent à garantir l'accès équitable à l'eau, la qualité et la durabilité des infrastructures.

-Modèles de tarification : La théorie de Posner encourage l'établissement de modèles de tarification qui reflètent les coûts réels de traitement et de distribution de l'eau, tout en tenant compte des besoins sociaux. Cela peut aider à gérer la demande et à inciter à une utilisation plus responsable de l'eau.

-Partenariats public-privé : La régulation économique a également favorisé l'émergence de partenariats public-privé dans le secteur de l'eau, où des entreprises privées peuvent être impliquées dans la gestion des ressources en échange d'une réglementation stricte pour protéger l'intérêt public.

L'influence d'une telle théorie sur la régulation de l'émergence des privés dans l'offre de l'eau potable au Bénin est donc démontrée. Toutefois, Posner soutient qu'en pareille circonstance où l'état autorise un acteur privé dans un secteur sensible comme l'eau, il doit prendre les dispositions pour garantir l'intérêt public. C'est un des points faibles de cette évolution comme le prouvent les résultats de nos travaux. Cette situation est aussi éclairée par les travaux de Hounsounou et al. (2017), qui montrent que le coût élevé de l'eau fournie par le réseau public, variant entre 198 et 658 FCFA par mètre cube (SONEB, 2007), pousse les ménages à recourir aux revendeurs privés pour satisfaire leurs besoins, surtout pour des usages essentiels comme la boisson et la cuisson.

3-La nouvelle économie institutionnelle, telle que développée par North (1990), éclaire la multiplicité des modalités d'approvisionnement en eau. Elle souligne comment, dans des environnements économiques, politiques, financiers et sociaux favorables, des modes complémentaires d'approvisionnement (privés, publics et coutumiers) peuvent émerger, comme cela a été observé dans les petites villes indiennes par Anastasia (2010). North met l'accent sur le rôle des institutions (règles, normes, structures) dans la détermination des performances économiques. Il soutient que les institutions influencent les comportements des acteurs économiques et, par conséquent, le développement économique. Ce cadre théorique explique pourquoi, au

Bénin, les structures privées se sont développées pour répondre à une demande non satisfaite par les services publics, souvent en raison de leur flexibilité et de leur capacité à s'adapter aux conditions locales.

4- La théorie de la privatisation des services publics : La théorie de la **privatisation des services publics** repose sur l'idée que le secteur privé peut fournir des services de manière plus efficace et rentable que le secteur public (Friedman 1962). Voici quelques éléments clés de cette théorie :

- **Efficacité économique** : La privatisation est souvent justifiée par l'idée que les entreprises privées, en raison de la concurrence, sont incitées à réduire les coûts et à améliorer la qualité des services. Cela pourrait mener à une utilisation plus efficace des ressources.

- **Diminution du rôle de l'État** : La privatisation réduit le rôle direct de l'État dans la fourniture de services, transférant la responsabilité à des acteurs privés. Cela peut alléger la charge financière de l'État, surtout dans un contexte de restrictions budgétaires.

- **Concurrence et innovation** : La présence d'acteurs privés peut stimuler l'innovation et l'amélioration des services, car les entreprises cherchent à se démarquer sur le marché.

La privatisation a comme possibles avantages :

- **Amélioration de la qualité des services** : Les entreprises privées peuvent avoir une plus grande flexibilité pour adapter leurs services aux besoins des consommateurs.

- **Efficacité budgétaire** : La privatisation peut réduire les dépenses publiques et permettre une allocation plus efficace des ressources.

- **Attraction d'investissements** : Le secteur privé peut mobiliser des capitaux pour le développement et l'amélioration des infrastructures.

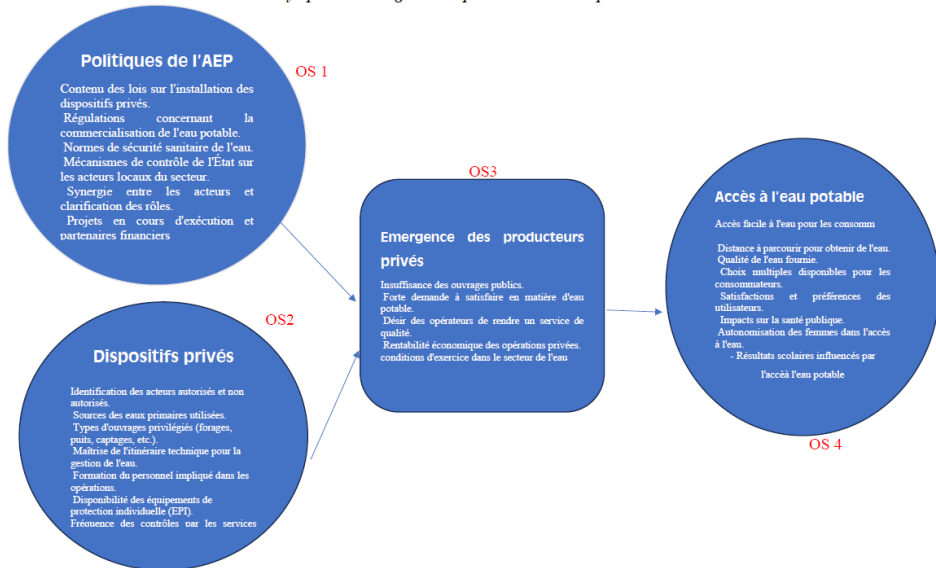
Elle peut aussi conduire à une inégalité dans l'accès aux services, les entreprises privées étant souvent motivées par le profit. Cela peut entraîner une négligence des populations les plus vulnérables. De même, le transfert de services publics au secteur privé peut réduire le contrôle démocratique et la transparence, rendant plus difficile la reddition de comptes. Les entreprises peuvent privilégier le profit au détriment de la qualité et de l'accessibilité des services, notamment dans des secteurs essentiels comme l'eau.

Dans le contexte de la gestion de l'eau, la privatisation peut se traduire par la délégation de la gestion des réseaux d'eau à des entreprises privées. Les partisans soutiennent que cela peut améliorer l'efficacité et réduire les coûts, tandis que les critiques mettent en garde contre les risques d'inégalités d'accès et de dégradation de la qualité des services. Dans le cadre de notre recherche, la théorie de la privatisation permet de voir comment les petits producteurs locaux privés du Bénin rivalisent de stratégies et d'innovation dans le conditionnement et la distribution pour rendre l'eau accessible aux consommateurs. Là où les opérateurs publics privilégient toujours le robinet et les adductions couteuses à mettre en place, les privés locaux sont plus flexibles et apportent de l'eau conditionnée presque partout sur le territoire national et en toute saison.

5- **La théorie du comportement planifié (TCP)** Cette théorie soutient que les individus aspirent à maintenir une cohérence entre leurs croyances, attitudes et comportements. En présence de dissonance, ils tendent à ajuster soit leurs attitudes, soit leurs comportements. Théorisée par Ajzen en 1991, elle a trouvé de nombreuses applications dans des domaines variés tels que la santé publique, l'environnement et le développement durable. Cummings et al. (2009) ont notamment utilisé la théorie du comportement planifié pour examiner les comportements relatifs à l'eau et à l'assainissement dans des contextes de développement. Dans le cadre de notre étude au Bénin, il est apparu que la croyance fondamentale décrivant l'eau potable comme une « eau pure, incolore, inodore et agréable à boire » demeure largement répandue. Cette conception est d'ailleurs celle qui continue d'être promue dans les établissements scolaires. Il en découle que cette croyance a significativement influencé la perception de certains consommateurs, qui se basent sur les propriétés organoleptiques de l'eau pour en évaluer la qualité.

Ces différentes théories mobilisées, bien qu'elles offrent des perspectives différentes, convergent sur l'importance de comprendre les dynamiques de marché, le rôle des institutions et la gouvernance dans l'émergence des opérateurs privés de l'eau. Lorsqu'elles sont appliquées de manière intégrée, elles offrent un cadre pour comprendre et améliorer la satisfaction des usagers vis-à-vis du service de l'eau potable au Bénin. Elles soulignent l'importance d'une approche collaborative, durable et régulée pour répondre aux défis complexes de l'approvisionnement en eau.

Cadre analytique de l'émergence des producteurs locaux privés dans l'AEP au Bénin



Discussion

L'émergence des producteurs privés locaux d'eau potable au Bénin s'inscrit dans un contexte plus large de libéralisation et de décentralisation des services publics, observé dans de nombreux pays en développement. Cette section discute des principaux résultats de la revue de littérature, en examinant les aspects positifs et les défis associés à l'intégration de ces acteurs privés dans le secteur de l'eau potable au Bénin.

1. Contribution positive des producteurs privés à l'approvisionnement en eau

De nombreux auteurs (Faye, 2020 ; Hountondji et al., 2022) ont souligné que les producteurs privés jouent un rôle crucial en comblant les lacunes des systèmes publics d'approvisionnement. Leur flexibilité, leur capacité à s'adapter aux réalités locales et leur proximité avec les communautés leur permettent de fournir des services là où les infrastructures publiques sont absentes ou défaillantes.

Par exemple, Akiyo (2017) et Lagnika (2014) montrent que l'implantation de mini-stations de purification et la distribution d'eau en vrac par des entrepreneurs locaux ont permis d'améliorer l'accès à l'eau potable dans plusieurs régions rurales du Bénin. Ces initiatives réduisent les distances de collecte d'eau pour les populations et contribuent ainsi à une meilleure qualité de vie.

2. Innovation technologique et adaptation locale

Les études de Banon et Bonnassieux (2011) et Hoteyi (2014) mettent en avant l'innovation technologique comme un levier clé pour ces acteurs privés. En utilisant des solutions de traitement de l'eau moins coûteuses et plus écologiques, ces entreprises ont contribué à diversifier les sources d'approvisionnement en eau potable, en utilisant par exemple des technologies de filtration adaptées aux conditions locales.

Cette capacité d'adaptation contraste avec les solutions standardisées souvent déployées par les services publics, qui peuvent ne pas toujours tenir compte des spécificités environnementales et culturelles de chaque région (Kelomè, 2012).

3. Défis économiques et régulation

Malgré leurs succès, les producteurs privés locaux font face à des défis importants, notamment en termes de financement et de réglementation. L'accès au crédit reste limité pour ces petits entrepreneurs, ce qui entrave leur capacité à investir dans des infrastructures durables et à étendre leurs services (Odoulami, 2009).

De plus, les études de Ki Zerbo (2006) et Rhodes (1996) révèlent que la réglementation du secteur reste fragmentée et parfois incohérente. Une absence de cadre juridique clair peut créer de l'incertitude et décourager l'investissement privé. Par ailleurs, les tentatives de régulation excessive peuvent étouffer l'innovation et limiter la capacité des producteurs privés à opérer de manière efficiente.

4. Défis environnementaux et gestion durable des ressources

Un autre enjeu majeur identifié dans la littérature concerne la gestion durable des ressources en eau. Bien que l'initiative privée permette d'accroître l'accès à l'eau, elle pose également des questions sur la durabilité de l'extraction des ressources hydriques locales (Yetongnon, 2020). La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) prônée par la Stratégie Nationale d'Approvisionnement en Eau Potable (SNAEP-MR 2017-2030) implique que les producteurs privés doivent non seulement se concentrer sur la distribution, mais aussi sur la préservation des ressources (Gomis, 2022).

Certains auteurs, comme Friedman (1962) et North (1990), mettent en avant l'importance de créer des incitations pour que ces producteurs investissent dans des pratiques durables, afin de garantir la disponibilité des ressources à long terme.

5. Impact social et équité d'accès

Les chercheurs Hountondji et al. (2022) et Sourogou (2021) ont analysé l'impact social des initiatives privées, soulignant que ces services tendent à favoriser l'équité d'accès à l'eau potable, en particulier dans les zones mal desservies par les réseaux publics. Cependant, des disparités persistent. Les coûts plus élevés de l'eau vendue par certains producteurs privés peuvent exclure les ménages les plus pauvres, ce qui pose la question de l'équité économique.

L'étude de Marteau (2010) montre que pour maximiser les avantages sociaux des initiatives privées, il est crucial de mettre en place des mécanismes de régulation qui garantissent un prix abordable pour les consommateurs, tout en permettant aux producteurs de rester financièrement viables.

Synthèse et Implications

La revue de la littérature montre que l'émergence des producteurs privés locaux d'eau potable au Bénin offre une réponse partielle mais importante aux insuffisances des systèmes publics d'approvisionnement. Ces acteurs apportent flexibilité, innovation et proximité avec les besoins locaux, mais leur succès dépend largement de l'amélioration des conditions de financement et de la mise en place d'un cadre réglementaire plus clair et cohérent.

En outre, les initiatives privées doivent être intégrées dans une vision globale de gestion durable des ressources, afin d'éviter une exploitation excessive et de garantir un accès équitable à long terme. Les efforts pour promouvoir l'innovation doivent également être accompagnés de mesures pour renforcer la coordination entre acteurs publics et privés, ainsi que de politiques qui soutiennent les entreprises locales tout en protégeant les consommateurs les plus vulnérables.

Ces conclusions suggèrent des pistes de réflexion pour de futures recherches, notamment sur les modèles de financement hybride (public-privé) et les mécanismes d'incitation à l'adoption de pratiques durables dans le secteur de l'eau au Bénin.

Conclusion

L'émergence des producteurs locaux privés d'eau potable au Bénin constitue une réponse essentielle à la crise de l'eau, tout en posant des défis de régulation et de qualité. Les travaux de Banon et Bonnasieux (2011), Hoteyi (2014), Akiyo (2017), Odoulami (2009), Kelomè (2012), Gomis (2022), Posner, (1974) ; Peltzman, (1976), (Hountondji, Nouatin, Moumoun-Moussa, Nansi & Krukkert 2022), Lagnika (2014) , Sourogou (2021), Yetongnon (2020), Faye (2020), Ki Zerbo (2006) , Marteau (2010), Abdoul-Ramane (2020) , North (1990), Olinor Olstrom (1990) ; Rhodes, (1996) ; Friedman (1962) ainsi que d'autres contributions, soulignent l'importance d'un cadre réglementaire adéquat pour garantir que ces acteurs privés puissent opérer de manière efficace et responsable. Des politiques publiques qui soutiennent et encadrent ces initiatives sont cruciales pour maximiser leur contribution à l'accès à l'eau potable.

Caractérisation des dispositifs privés d'Approvisionnement en Eau Potable et conséquences socio-environnementales au Bénin

Gildas Sènamèdè Aizannon¹, Gildas Hervé Adoté Akueson², Ismail Moumouni-Moussa¹

¹Laboratoire de Recherche sur l'Innovation pour le Développement Agricole (LRIDA), Université de Parakou, Parakou, Benin

²Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire Valéry Giscard d'Estaing de Faranah (IS AV-VGE/F), B.P : Faranah, République de Guinée-

Unit of Applied Statistics and Informatics (USIA), Laboratory of Studies and Research in Forestry (LERF), University of Parakou, Parakou BP 123, Benin.

Résumé

Cet article analyse les méthodes d'approvisionnement en eau potable utilisées par des opérateurs privés en milieu urbain et rural, basées sur des documents politiques, des rapports, des images et une enquête de terrain. Les forages et les puits se révèlent être les sources principales, représentant respectivement 30,67 % et 18,67 % de l'approvisionnement. Toutefois, un point préoccupant émerge : 16 % des opérateurs n'ont pas précisé leur source d'approvisionnement, ce qui souligne le besoin d'une meilleure clarification pour gérer les ressources en eau. Bien que 97,33 % des producteurs locaux affirment avoir les outils nécessaires pour produire de l'eau potable, seulement 48 % possèdent une connaissance approfondie du processus de production, tandis que 52 % semblent en manquer. Cela indique une nécessité urgente de renforcer la formation et la sensibilisation techniques pour assurer la qualité de l'eau.

Mots clés : caractérisation-dispositifs privés- qualité eau potable au Bénin-approvisionnement en eau potable

Characterization of private drinking water supply systems and socio-environmental consequences in Benin

Abstract

This article analyzes the methods of drinking water supply used by private operators in both urban and rural areas, based on policy documents, reports, images, and a field survey. Boreholes and wells emerge as the main sources, accounting for 30.67% and 18.67% of the supply, respectively. However, a concerning issue arises: 16% of the operators did not specify their source of supply, highlighting the need for better clarification to manage water resources effectively. Although 97.33% of local producers claim to have the necessary tools to produce drinking water, only 48% possess a thorough understanding of the production process, while 52% appear to lack this crucial knowledge. This indicates an urgent need to strengthen technical training and awareness to ensure water quality.

Keywords: characterization-private devices-drinking water quality in Benin-drinking water supply

¹ Corresponding author: gildasaizannon@gmail.com

INTRODUCTION

L'accès à l'eau potable est un enjeu central pour le développement économique et social au Bénin, notamment dans les zones rurales et périurbaines où les services publics d'approvisionnement en eau sont souvent inadéquats ou inexistant. Dans ce contexte, des dispositifs privés d'Approvisionnement en Eau Potable (AEP) ont progressivement émergé, répondant à une demande croissante des ménages et des entreprises pour une eau de meilleure qualité et en quantité suffisante. Ces dispositifs privés, bien qu'ils aient permis de combler certaines lacunes des systèmes publics, soulèvent des préoccupations quant à leurs conséquences socio-environnementales.

La privatisation de l'AEP, initiée sous diverses formes, telles que la gestion déléguée ou les partenariats public-privé, vise principalement à améliorer l'efficacité du service. Cependant, les effets réels sur les populations vulnérables, la gestion durable des ressources en eau, et l'impact écologique restent des sujets controversés. Plusieurs études, dont celles de Swyngedouw (2004) et Falkenmark (1997), ont démontré que l'introduction de systèmes privés dans la gestion de l'eau peut exacerber les inégalités d'accès, en particulier pour les ménages à faible revenu. Dans ce chapitre, nous proposons de caractériser les dispositifs privés d'AEP au Bénin et d'analyser leurs conséquences socio-environnementales, en mettant en lumière à la fois leurs avantages et leurs limites.

Méthodologie

Pour mener à bien cette analyse, nous avons adopté une approche mixte combinant une revue de la littérature sur les dispositifs privés d'AEP et une enquête de terrain menée dans plusieurs localités du Bénin. La revue de la littérature a permis d'identifier les principales caractéristiques des systèmes privés d'AEP, notamment en ce qui concerne leur structure de gouvernance, leur mode de financement et leurs stratégies de distribution. Parmi les travaux consultés, ceux de Biswas (2004) et de Pahl-Wostl et al. (2016) se sont avérés particulièrement pertinents pour comprendre les dynamiques des dispositifs privés dans le secteur de l'eau.

L'enquête de terrain, quant à elle, a été réalisée dans quatre communes du Bénin, sélectionnées en raison de la présence significative de dispositifs privés d'AEP. Les données ont été collectées à partir d'entretiens semi-structurés avec les gestionnaires des systèmes privés, les autorités locales et les usagers. En outre, des observations directes sur le terrain ont permis d'évaluer l'état des infrastructures et les pratiques de gestion des ressources en eau. Les données obtenues ont ensuite été analysées à l'aide d'outils statistiques pour identifier les facteurs influençant l'efficacité des dispositifs privés et leurs impacts sur l'environnement et les communautés locales.

Résultats

Caractérisation des petits opérateurs privés locaux de l'eau potable

La base de données des producteurs est un ensemble de données comprenant 79 entrées et 40 variables. Elle contient des informations sur les producteurs locaux privés d'eau potable dans les communes d'Abomey-Calavi (51,90%), de Parakou (39,20%), de Boukombé (6,30%) et de Banikoara (2,50%).

*Concernant la répartition par sexe, la base indique que 73,40% des producteurs sont des hommes, tandis que 26,60% sont des femmes. De plus, la plupart des producteurs ont atteint un niveau d'éducation secondaire (45,57%) ou universitaire (31,65%). En outre, la vente d'eau constitue l'activité principale pour une grande partie de ces producteurs.

Les résultats de l'analyse des données révèlent un panorama complexe de la situation de l'approvisionnement en eau potable dans les régions de Parakou, Banikoara, Boukombé, et Abomey Calavi.

Sources d'eau utilisées :

Les forages et les puits se démarquent comme les sources les plus couramment utilisées, représentant respectivement 30,67% et 18,67% de l'approvisionnement en eau avec en plus, l'eau de robinet du réseau public. Cependant, une ombre plane sur cette analyse, car 16% des opérateurs privés interrogés n'ont pas spécifié leur source d'approvisionnement. Cela soulève la nécessité d'une clarification pour une gestion plus précise des ressources hydriques. Il est intéressant d'énumérer les caractéristiques des puits et forages afin d'apprécier quelques éléments de différenciation et de similitude

Le puits : Un puits est un ouvrage vertical de captage de l'eau d'une nappe souterraine contenue dans une roche du sous-sol appelée aquifère. Les puits creusés à la main et d'une profondeur allant de 10 à 20 m au plus généralement, de diamètre compris entre 1 et 1,8m, figurent parmi les sources d'approvisionnement en

eau les plus anciennes. Les premiers puits étaient d'ailleurs de simples trous non protégés des éboulements et qui n'ont pu durer dans le temps.

Il existe deux catégories de puits : les puits traditionnels et les puits à grands diamètre.

- *Les puits traditionnels* : diamètre compris entre 1 et 1,20 m ; ces puits sont plus fréquents en milieu rural au Bénin avec des parois en général non revêtus ou un revêtement peu épais de ciment non armé et qui ne pénètrent dans la nappe que sur une faible profondeur. Ces types de puits sont souvent réalisés à la main par des puisatiers locaux. Bien que fréquents en milieu rural, il existe encore des puits traditionnels dans les grandes agglomérations du Bénin et surtout dans les quartiers périphériques où le degré d'urbanisation est faible de même que le réseau de la SONEB.

- *Les puits à grands diamètres ou puits modernes ou puits communautaires* : Entre 1,5 et 1,8 m de diamètre, les parois sont soutenues par des buses en béton armé qui descendent jusqu'au niveau de la nappe. Les puits à grand diamètre sont réalisés à la main quand le sol est tendre, à l'aide de marteau-piqueur sur des sols durs ou parfois à l'explosif sur des terres très dures. On les retrouve dans les villages et parfois quelques quartiers de ville. Les puits à grand diamètre sont souvent munis de margelle et de treuil. On rangera dans cette catégorie les puits profonds équipés d'un système de poulie à traction manuelle.

Le Forage : Le forage est un puits foré de manière plus moderne et sophistiquée. C'est un ouvrage d'AEV de diamètre compris généralement entre 15 et 40 cm réalisé à l'aide de moyens matériels importants. Le trou ici est fait à l'aide d'une foreuse. Une fois que le trou atterrit dans la nappe phréatique sur plusieurs mètres, le forage est arrêté et on glisse dans le trou un tube de plastique qui comporte des fentes au niveau où se trouve l'eau pour permettre à celle-ci de pénétrer à l'intérieur du tube et d'être pompée. On remplit l'espace entre le tube et le trou avec du gravier au niveau de la crépine puis par des matériaux imperméables comme l'argile. Avant que le remplissage n'atteigne la surface on cimente les derniers mètres avec du ciment.

Dans les localités visitées dans le cadre de la présente étude, les forages courants sont les Forages équipés de Pompe à Motricité Humaine (FPMH), les Postes d'Eau Autonomes (PEA), les bornes fontaines (BF). L'implantation des forages nécessite en principe des investigations et le rapprochement d'avec un réseau hydrographique pour s'assurer un débit supérieur à 5m³ cube/heure.

❖ *Forages équipés de Pompe à Motricité Humaine (FPMH)* :

Les FPMH sont des forages équipés de pompes actionnées à la main ou au pied. On les appelle pompes à motricité humaine. La norme de desserte est fixée à 250 habitants

❖ *Poste d'Eau Autonome (PEA)* :

Ce sont des forages dotés d'un château d'eau et d'une borne fontaine. Le système est donc composé d'un mécanisme de pompage, d'un réservoir pour le stockage (château) d'un mécanisme de distribution (borne fontaine). La norme de desserte est fixée pour 1 000 habitants dans des zones d'habitats groupés. En dehors des PEA réalisés par l'Etat dans le respect des normes techniques, de nombreux particuliers érigent des postes autonomes privés pour des usages individuels ou collectifs et ceci, souvent au mépris de la réglementation et du respect des normes.

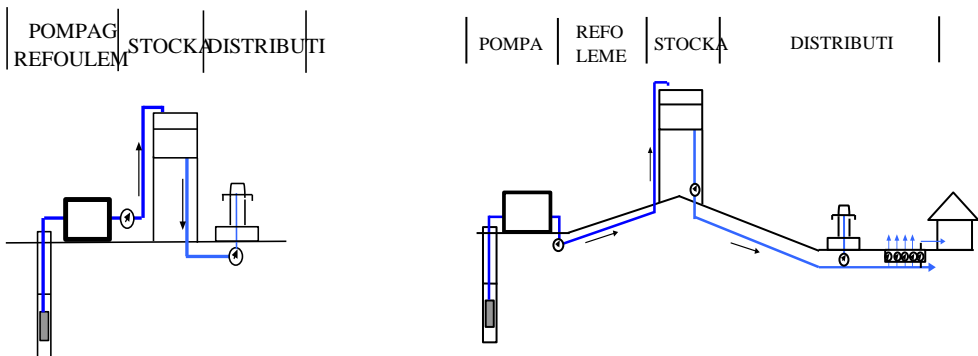
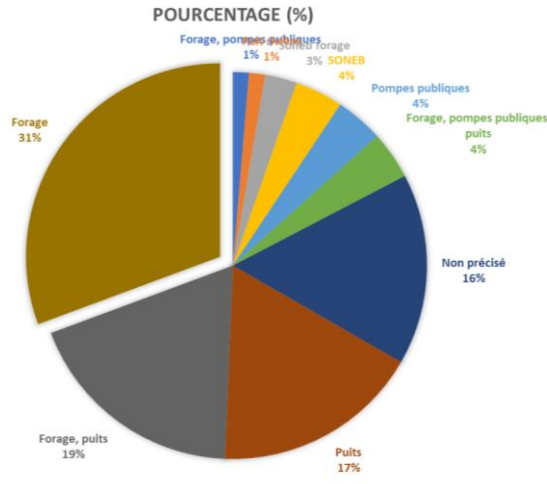


Figure 1 Schema type d'un PEA (SNAEP-MR 2017, Bénin)



Graphique 1 ; Répartition selon les types d'ouvrages privilégiés par les producteurs

Les Adductions d'Eau Villageoises (AEV) :

Elles sont identiques au cas précédent, à la différence qu'elles sont dotées de plusieurs bornes fontaines réparties dans le village. Située souvent dans un point en hauteur de la zone à desservir, une AEV nécessite donc un réseau avec des tuyaux pour la canalisation qui peut être longue en fonction de la distance qui sépare l'ouvrage des habitations. Certaines AEV disposent de plusieurs robinets publics encore appelés « bornes fontaines ». La SONEB a construit de nombreuses AEV dans les 77 chefs-lieux de communes et dans près de 400 villages situés dans la périphérie des centres urbains. La norme de desserte ici est fixée pour plus de 2 000 habitants (1 borne-fontaine pour 500 habitants), ou pour des groupes de villages et localités proches les uns des autres.

Les opérateurs privés qui jouent un rôle dans la réponse aux besoins en eau potable au Bénin utilisent globalement les mêmes types d'ouvrages pour rendre disponible l'eau aux consommateurs. Evalué à quelques dizaines avant 2017, les producteurs privés sont une trentaine à Parakou et plus d'une centaine à Porto-Novo déjà en 2014 (Hoteyi). Ces chiffres sont en constante augmentation au point où il semble peu crédible de réaliser l'ODD6 à l'horizon 2030 sans l'apport des opérateurs privés. Dans cette contribution des opérateurs privés locaux, il faut ranger les milliers de forages à domicile qui n'apparaissent presque pas dans les statistiques du gouvernement.

Ainsi, dans beaucoup de localités du Bénin, les postes d'eau autonomes sont détenus par des particuliers qui suppléent les insuffisances du service public avec malheureusement tout ce que cela comporte comme risque. A fin juin 2021, le Bénin a réalisé pour le milieu rural un total de 14516 Forage équipés de Pompe à Motricité Humaine ; 200 Postes d'eau autonome ; 7766 bornes fontaines (Rapport 2021 ANAEPMR).

Les données collectées sur le terrain auprès des producteurs ciblés dans les communes de Parakou, Abomey-Calavi, Banikoara et Boukombé permettent de se faire une idée plus précise des dispositifs utilisés par les privés pour l'approvisionnement en eau potable.

Disponibilité des outils de production et maîtrise de l'itinéraire technique :

Il est rassurant de constater que la grande majorité des petits opérateurs privés locaux (97.33%) déclarent disposer des outils nécessaires pour la production d'eau potable. Cette disponibilité des ressources essentielles indique une capacité opérationnelle solide, fondamentale pour répondre à la demande en eau potable dans ces régions. Cependant, malgré cette disponibilité matérielle, une autre facette de l'analyse soulève des préoccupations. Seuls 48% des opérateurs déclarent avoir une connaissance de l'itinéraire technique de production de l'eau potable, tandis que 52% semblent manquer de cette connaissance cruciale.

Il s'agit d'un signal d'alarme quant à la nécessité pressante de renforcer la formation et la sensibilisation techniques pour garantir la qualité de l'eau potable.

En ce qui concerne les sources d'approvisionnement en eau, les forages et les puits se démarquent comme les sources les plus couramment utilisées, représentant respectivement 30.67% et 18.67% de l'approvisionnement en eau. Cependant, une ombre plane sur cette analyse, car 16% des opérateurs n'ont pas spécifié leur source d'approvisionnement. Cela soulève la nécessité d'une clarification pour une gestion plus précise des ressources hydriques. De plus, malgré ce que soit à but commercial, les ouvrages, au mépris des lois en vigueur au Bénin, ne font généralement l'objet d'aucune autorisation préalable avant leur réalisation et leur mise en exploitation ce qui est assez préoccupant car ils peuvent être forés dans des zones insalubres avec in fine des eaux impropres à la consommation abritant plusieurs pathogènes ou des caractéristiques physicochimiques nuisibles à la santé humaine. Les résultats de terrain révèlent d'ailleurs l'existence de forages non loin des tas d'immondices, des toilettes, des garages de mécanique avec déversement des huiles au sol, ce qui est une menace directe et une source potentielle de contamination de l'eau produite malgré des traitements à l'efficacité pas toujours certaine.

La protection adéquate du personnel impliqué directement dans la production de l'eau potable et son conditionnement est une question critique et les données indiquent qu'ici, il y a place à l'amélioration. En effet, seulement 26.67% des opérateurs déclarent disposer d'équipements de protection recommandés pour les employés intervenant dans le processus. Il est donc essentiel de mettre en place des mesures de sécurité adéquates pour garantir la sécurité du personnel travaillant dans le domaine de l'eau potable et pour garantir la sécurité sanitaire de l'eau livrée aux consommateurs car il est évident qu'un employé qui, par exemple, a un doigt infecté ou qui souffre d'une maladie infectieuse telle la tuberculose, le choléra ou d'une hygiène corporelle inadaptée peut contaminer l'eau à un moment donné du processus du fait des différentes manipulations. Ce risque est aggravé sans équipements de protection adaptés et sans le respect rigoureux d'un plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau au niveau de chaque unité de production.



Graphique 2 : Disponibilité des EPI au niveau des privés locaux enquêtés

La formation du personnel est un autre élément clé, avec seulement 36% des opérateurs déclarant avoir du personnel qualifié et bien formé. Il est impératif de renforcer la formation pour assurer à la fois la sécurité et la qualité de l'eau potable. Le niveau de connaissance des maladies liées à l'eau est encourageant car une grande majorité (69.33%) des opérateurs interrogés a une compréhension adéquate des affections possibles et ont pu citer les maux de ventre, la diarrhée, le choléra, les infections et la fièvre typhoïde. Cela témoigne d'une prise de conscience positive des enjeux de santé liés à l'eau.



Graphique 3 : Connaissance des privés locaux des maladies liées à l'eau

En revanche, la conscience de l'impact de leurs activités sur l'environnement et la santé humaine semble moins répandue, avec seulement 33.33% des opérateurs reconnaissant cet impact. Il est crucial de promouvoir à leur niveau une plus grande responsabilité environnementale et de les amener à adopter des pratiques pour minimiser les effets néfastes de leurs activités. Enfin, en ce qui concerne les réactifs de traitement, le chlore est largement utilisé (80%), ce qui indique une certaine sensibilisation à l'importance du traitement pour garantir la potabilité de l'eau.

Évaluation de l'application de l'interdiction des sachets non biodégradable

Conformité des petits opérateurs privés locaux à l'interdiction des sachets non biodégradables ;

L'évaluation de la conformité des petits opérateurs privés locaux à l'interdiction des sachets non biodégradables repose sur les données recueillies auprès de 40 % des producteurs recensés. Cette restriction dans la taille de l'échantillon doit être prise en compte lors de l'interprétation des résultats, car elle peut influencer la représentativité des conclusions.

Tout d'abord, en ce qui concerne les commandes de sachets, les résultats indiquent que la grande majorité (86.20 %) des opérateurs se procurent leurs sachets au Bénin, où l'interdiction des sachets non biodégradables est en vigueur. Bien que ces résultats proviennent d'un sous-échantillon, cela suggère une certaine conformité dans le choix de leurs fournisseurs de sachets. De plus, une proportion significative (89.65 %) des opérateurs déclare être au courant de l'interdiction des sachets non biodégradables depuis 2017. Cette sensibilisation accrue est un indicateur positif de la diffusion de l'information sur la réglementation en vigueur, même si elle est basée sur un sous-échantillon. Cependant, une observation préoccupante réside dans le fait que la grande majorité (96.55 %) des sachets utilisés pour le conditionnement de l'eau sont encore non biodégradables, selon les données disponibles. Cette non-conformité à la réglementation constitue un défi majeur pour la réduction des déchets plastiques et l'atteinte des objectifs environnementaux, bien que ces résultats soient basés sur une partie de l'échantillon. De plus, environ 48.27 % des opérateurs déclarent avoir été interpellés au sujet de la qualité de leurs sachets ou bouteilles de conditionnement. Cela souligne une prise de conscience croissante de la nécessité de surveiller et d'améliorer la qualité des emballages utilisés, même si ces données proviennent d'un sous-échantillon.

En résumé, bien que la majorité des opérateurs semblent consciente de l'interdiction des sachets non biodégradables, il existe encore un écart significatif entre cette sensibilisation et la conformité réelle en termes d'utilisation de sachets non biodégradables. Cette non-conformité pose des défis pour la réduction des déchets plastiques et souligne la nécessité de renforcer la mise en œuvre de la réglementation. Il est également important de continuer à sensibiliser les opérateurs aux avantages des emballages biodégradables pour l'environnement, tout en gardant à l'esprit que ces conclusions sont basées sur un sous-échantillon.

Tableau 1: Répartition des commandes de sachets

Vos commandes de sachets non biodégradables ou biodégradables se font où?	Nombre	Pourcentage (%)
Au Bénin	25	86.20
Hors du Bénin	04	03.80
Total général	29	100

Tableau 2 Connaissance de l'interdiction des sachets non biodégradables

Êtes-vous au courant de l'interdiction des sachets non biodégradables depuis 2017?	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	26	89.65
Non	03	10.35
Total général	29	100

Tableau 3: Type de sachets utilisés pour le conditionnement de l'eau

Les sachets utilisés pour le conditionnement de l'eau sont-ils biodégradables ou non ?	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	01	03.45
Non	28	96.55
Total général	29	100

Tableau 4: Interpellation au sujet de la qualité des sachets ou bouteilles de conditionnement

Avez-vous été interpellé au sujet de la qualité de vos sachets ou bouteilles de conditionnement ?	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	14	48.27
Non	15	51.73
Total général	29	100

Tableau 5: Tableau de répartition de la connaissance sur l'obligation de disposer d'un PGSSE

Connaissance de l'information sur l'obligation de disposer d'un PGSSE ?	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	18	22.89
Non	61	77.21
Total général	79	100

Les défis rencontrés par les opérateurs dans la transition vers des emballages biodégradables

Même quand la volonté de passer aux emballages biodégradables est manifeste chez les producteurs locaux, la disponibilité de cette qualité sur le marché n'est pas toujours garantie au point où 96.55% des enquêtés reconnaissent utiliser toujours les emballages interdits. Cela suppose que malgré l'interdiction qui date de

2017, l'importation des emballages prohibés reste possible et le cordon douanier ne semble pas outillé pour lutter contre. Le coût des emballages biodégradables semble aussi un indicateur qui ne motive pas les producteurs locaux.

2-3.3 L'impact de cette mesure sur l'environnement, la qualité de l'eau et les coûts opérationnels

L'utilisation des sachets biodégradables pour le conditionnement de l'eau potable est bénéfique pour l'environnement et la santé humaine. Ceci limite la pollution des eaux, la pollution des sols, l'encombrement des mers et des nappes phréatiques, les risques de contamination.

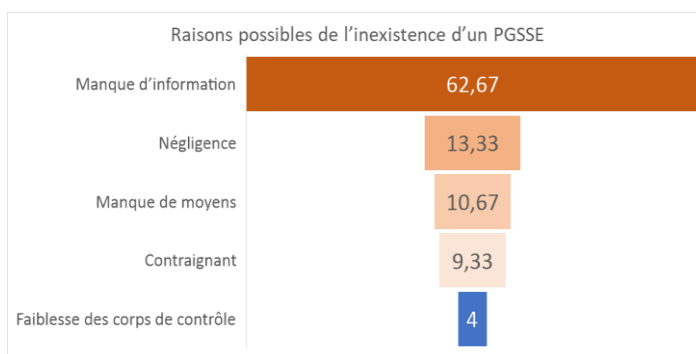
2-3 Évaluation de la mise en Œuvre du Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau (PGSSE)

2-4.1 La connaissance et la compréhension du PGSSE par les opérateurs.

La connaissance et la compréhension du Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau (PGSSE) par les opérateurs revêtent une importance cruciale pour garantir la sécurité de l'eau potable.

Tout d'abord, en ce qui concerne la connaissance de l'obligation de disposer d'un PGSSE, les résultats montrent que seulement 22.89 % des opérateurs sont conscients de cette obligation, tandis que la grande majorité (77.21 %) semble ne pas avoir cette information. Cette lacune dans la sensibilisation à l'existence d'un PGSSE soulève des préoccupations quant à la diffusion de l'information auprès des opérateurs privés de l'eau potable.

En ce qui concerne les raisons possibles de l'absence d'un Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau, plusieurs facteurs sont identifiés. La raison la plus courante est le "manque d'information", citée par 62.67 % des répondants. Cela indique un besoin pressant d'améliorer la communication et la diffusion de l'information sur l'importance du PGSSE et les démarches pour sa mise en place. En outre, 13.33 % des opérateurs mentionnent la "négligence" comme une raison, tandis que 10.67 % évoquent le "manque de moyens". Ces raisons mettent en évidence les défis auxquels sont confrontés certains opérateurs pour mettre en œuvre le PGSSE, notamment en ce qui concerne les ressources financières et l'engagement. Enfin, 9.33 % des opérateurs estiment que le PGSSE est "contraignant". Cette perception peut être liée à des contraintes bureaucratiques ou à une méconnaissance des avantages que peut apporter le PGSSE en matière de sécurité sanitaire de l'eau. En résumé, les résultats indiquent que la connaissance de l'obligation de disposer d'un PGSSE par les opérateurs est limitée, et il existe un besoin urgent de renforcer la sensibilisation et la communication à ce sujet. De plus, les raisons de l'absence de PGSSE varient, avec des facteurs tels que le manque d'information, la négligence, le manque de moyens et la perception de contraintes. Cette analyse souligne l'importance de soutenir les opérateurs dans la mise en œuvre du PGSSE et de les informer sur ses avantages en matière de sécurité sanitaire de l'eau.



Les mesures concrètes prises pour assurer la sécurité sanitaire de l'eau

Ici, il est alarmant de noter que seulement 2.67 % des opérateurs disposent d'exemples de fiches d'observations des corps de contrôle. Cela suggère que la vaste majorité des opérateurs (97.33 %) n'ont pas été soumis à des évaluations rigoureuses ou ne conservent pas de traces des contrôles effectués sur leurs opérations, une lacune majeure dans la surveillance de la qualité de l'eau. Cette absence de documentation

formelle pour enregistrer les observations des corps de contrôle indique un besoin urgent d'établir des procédures de suivi plus rigoureuses pour garantir la sécurité de l'eau potable.

Ensuite, les missions de contrôle sur les sites de production semblent également être un phénomène rare, avec seulement 10.67 % des opérateurs déclarant recevoir fréquemment des missions de contrôle. Cette faible fréquence de contrôles suggère que de nombreux opérateurs pourraient opérer sans une surveillance régulière, ce qui pourrait avoir des implications pour la qualité et la sécurité de l'eau qu'ils fournissent. Il est essentiel que les organismes de réglementation et de contrôle intensifient leurs efforts pour surveiller et évaluer les opérations des petits opérateurs privés locaux. En ce qui concerne la périodicité des prélèvements pour analyses, la majorité des opérateurs (91.17 %) effectuent des prélèvements mensuels. Seuls 8.83 % des opérateurs effectuent des prélèvements hebdomadaires. Cette prédominance des prélèvements mensuels pourrait indiquer une surveillance adéquate pour certains contaminants, mais une surveillance hebdomadaire pourrait être nécessaire pour des contaminants plus volatils ou des situations où la qualité de l'eau est sujette à de fréquentes variations. Il est important que les opérateurs ajustent leur fréquence de prélèvement en fonction des caractéristiques de leur source d'approvisionnement en eau et des exigences réglementaires pour s'assurer de la sécurité sanitaire de l'eau. En conclusion, ces résultats mettent en évidence la nécessité d'améliorer la surveillance et le suivi des opérations des petits opérateurs privés locaux dans le domaine de l'approvisionnement en eau potable. Des procédures de contrôle plus rigoureuses, des missions de contrôle plus fréquentes et une périodicité de prélèvement adaptée sont essentielles pour garantir la qualité et la sécurité de l'eau potable fournie à la population.

Tableau 6: Tableau des raisons possibles de l'inexistence d'un PGSSE

Raisons possibles de l'inexistence d'un PG-SSE	Nombre	Pourcentage (%)
Manque d'information	47	62.67
Faiblesse des corps de contrôle	3	04
Négligence	10	13.33
Manque de moyens	8	10.67
Contraignant	7	09.33
Total général	75	100

Tableau 7: Tableau de répartition sur les exemples fiches des observations des corps de contrôle

Exemples fiches des observations des corps de contrôle	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	02	02.67
Non	73	97.33
Total general	75	100

Tableau 8: Tableau de répartition sur les missions de contrôle des sites site de production

Recevez-vous souvent des missions de contrôle sur votre site de production ?	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	07	10.67
Non	67	89.33
Total general	74	100

Tableau 9: Répartition sur Périodicité des prélèvements pour analyses

Périodicité des prélèvements pour analyses	Nombre	Pourcentage (%)
Semaines	06	08.83
Mois	62	91.17
Total général	68	100

Tableau 10: Disposition des outils pour la production d'eau potable

Disposez-vous des outils nécessaires pour la production de l'eau potable ?	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	73	97.33
Non	2	2.67
Total général	75	100

Tableau 11: Connaissance de l'itinéraire technique de production d'eau potable

Connaissance de l'itinéraire technique de production de l'eau potable?	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	36	48
Non	39	52
Total général	75	100

Tableau 12: Sources d'approvisionnement en eau

Sources d'approvisionnement en eau	Nombre	Pourcentage (%)
Forage	23	30.67
Puits	13	17.33
SONEB	3	4
Pompes publiques	3	4
Forage, pompes publiques	1	1.33
Forage, pompes publiques, puits	3	4
Forage, puits	14	18.67
Soneb forage	2	2.67
Puit rivière	1	1.33
Non précisé	12	16
Total general	75	100

Tableau 13: Existence des équipements de protection

Existence des équipements de protections	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	20	26.67
Non	55	73.33
Total general	75	100

Tableau 14: Personnel qualifié formé

Personnel qualifié formé	Nombre	Pourcentage (%)
Oui	27	36
Non	48	64
Total général	75	100

Tableau 15: Connaissance sur les maladies de l'eau

Connaissance sur les maladies de l'eau	Nombre	Pourcentage (%)
Oui (Maux de ventre, diarrhée, cholera, infections, fièvre typhoïde)	52	69.33
Non	23	20.67
Total général	75	100

Tableau 16: Connaissance de l'incidence des activités sur l'environnement et la santé humaine

Connaissance de l'incidence des activités sur l'environnement et la santé humaine	Effectifs	Pourcentage (%)
Oui	25	33.33
Non	50	66.67
Total général	75	100

Tableau 17: Réactifs / Intrants de traitement

Réactifs / Intrants de traitement	Nombre	Pourcentage (%)
Chlore	60	80
Sidakin	3	4
Aquatabs	3	4
Aucun	9	12
Total general	75	100

Tableau 18: Type de relation avec la SONEB

Type de relation avec la SONEB	Nombre	Pourcentage (%)
Pas de relation	72	96
Proche	3	4
Total général	75	100

Alors que le dispositif garantissant la qualité de l'eau produite au Bénin par les petits opérateurs privés locaux rend la SONEB incontournable pour l'opérationnalisation et le suivi du PGSSE, 96 % d'entre eux affirment n'avoir pas de relation avec la SONEB. Cette situation vient corroborer le constat de la rareté des missions d'inspection et renforce la crainte quant à la qualité de l'eau produite par les opérateurs locaux privés. Non seulement ces opérateurs ne sont pas toujours au courant de la réglementation de leur secteur et donc des exigences techniques, on peut aussi soupçonner les difficultés de la SONEB à disposer de personnel commis à cette tâche sur toute l'étendue du territoire nationale. Ces données fournissent un aperçu complet du dispositif utilisé par les producteurs privés locaux pour l'approvisionnement en eau potable dans les régions

étudiées où puits et forages restent les sources dominantes d'approvisionnement en eaux primaires utilisées par les privés en plus de l'eau issue du réseau public. Elles révèlent des domaines de force, tels que la disponibilité d'outils et la sensibilisation aux maladies liées à l'eau, tout en mettant en lumière des domaines à améliorer, notamment la formation technique, la sécurité, et la gestion des ressources hydriques. Pour atteindre une gestion efficace de l'eau potable, une collaboration étroite avec la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) et d'autres parties prenantes est essentielle.

Dans cette optique, il est important de noter que la grande majorité des opérateurs (96%) n'entretiennent pas de relation étroite avec la SONEB. Cette donnée peut avoir des implications significatives sur la coordination globale de l'approvisionnement en eau potable, et elle souligne la nécessité d'établir des liens plus étroits avec les acteurs clés pour garantir une eau potable de qualité, sûre et durable pour les communautés de Parakou, Banikoara, Boukombé, et Abomey Calavi. En fin de compte, l'objectif ultime est de fournir une source vitale de vie à ces régions tout en préservant l'environnement et la santé humaine.

Les résultats de notre étude montrent que les dispositifs privés d'AEP jouent un rôle crucial dans l'amélioration de l'accès à l'eau potable dans les zones où les services publics sont déficients. Dans certaines communes rurales, plus de 70 % des ménages dépendent des systèmes privés pour leur approvisionnement quotidien en eau. Ces dispositifs sont souvent mieux entretenus que leurs homologues publics, en raison d'une gestion plus flexible et de financements plus directs. Toutefois, ces systèmes sont également marqués par des inégalités significatives en termes d'accès. Les ménages à faible revenu, notamment dans les zones rurales, rencontrent des difficultés à payer les tarifs plus élevés imposés par les opérateurs privés, ce qui limite leur accès à une eau de qualité.

L'analyse des impacts environnementaux des dispositifs privés d'AEP révèle que, dans plusieurs localités, les prélèvements d'eau ne sont pas suffisamment régulés, ce qui entraîne une surexploitation des ressources en eau souterraine. Comme l'ont montré Falkenmark (1997) et Van der Zaag et Savenije (2006), une gestion non durable des ressources hydriques peut entraîner une dégradation des écosystèmes locaux, ainsi qu'une diminution de la disponibilité future des ressources en eau. Dans certaines communes étudiées, nous avons observé une baisse significative du niveau des nappes phréatiques, directement liée à l'intensification des prélèvements par les dispositifs privés.

Discussion

Les résultats obtenus soulignent la nécessité d'une régulation plus stricte des dispositifs privés d'approvisionnement en eau potable (AEP) au Bénin. Bien que ces systèmes aient permis d'améliorer l'accès à l'eau potable dans des zones mal desservies, leur gestion est souvent axée sur des objectifs de rentabilité, négligeant les considérations sociales et environnementales. Comme l'ont montré Swyngedouw (2004) et Biswas (2004), la privatisation des services publics, y compris ceux liés à l'eau, peut aggraver les inégalités, surtout dans des contextes où les mécanismes de régulation sont faibles ou inefficaces. Hountondji et al. (2022) mettent également en lumière la vulnérabilité des quartiers périphériques, où la gestion de l'eau est souvent déconnectée des réalités locales. Il est donc crucial de mettre en place des mécanismes de suivi et d'évaluation des impacts environnementaux des systèmes privés d'AEP. Les dispositifs de prélèvement d'eau doivent être mieux encadrés pour éviter la surexploitation des ressources, conformément aux recommandations de Gleick (2000) et Pahl-Wostl et al. (2016). Par ailleurs, il est impératif d'inclure les communautés locales dans la gestion de ces systèmes afin d'assurer une répartition équitable des bénéfices et de minimiser les impacts négatifs sur l'environnement. Les travaux de Hountondji soulignent l'importance de l'engagement communautaire pour renforcer la durabilité et l'acceptabilité des projets d'approvisionnement en eau. Enfin, des efforts doivent être faits pour rendre ces systèmes plus accessibles aux populations à faible revenu. L'introduction de subventions ou de tarifs sociaux pourrait aider à réduire les disparités en termes d'accès, comme suggéré par Sadoff et Grey (2002). Une approche intégrée, combinant gestion participative, régulation stricte et financement public, semble être la clé pour garantir la durabilité des dispositifs privés d'AEP au Bénin.

Conclusion

En conclusion, bien que les dispositifs privés d'AEP aient permis d'améliorer l'accès à l'eau potable dans certaines régions du Bénin, ils présentent également des limites importantes, notamment en ce qui concerne l'égalité d'accès et la durabilité environnementale. Une régulation plus rigoureuse, associée à une meilleure

inclusion des communautés locales, est nécessaire pour assurer que ces systèmes contribuent réellement au développement durable et à la justice sociale. L'eau étant un bien commun essentiel, sa gestion, qu'elle soit publique ou privée, doit toujours placer les intérêts des populations et de l'environnement au centre des préoccupations.

Références

- [1] Adandédjan, D. (2022). Diversity and Determinism of Benthic Macro-Invertebrate Populations in Two Lagoons in Southern Benin. Doctoral thesis: University of Abomey-Calavi.
- [2] Assogbadjo, A.E., Amadji, G., Glèlè Kakaï, R.L., Mama, A., Sinsin, B., & Van, D.P. (2009). Ecological and ethnobotanical assessment of *Jatropha curcas* L. in Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(5), 1065-1077.
- [3] Azonnakpo, O.V., Agbossou, E.K., & Aminou, T. (2020). Physico-chemical and bacteriological quality of water in the Ouémé delta. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 20.
- [4] Banque Mondiale. (2020). *Rapport sur les infrastructures en Afrique de l'Ouest*. Banque Mondiale.
- [5] Biswas, A.K. (2004). Integrated water resources management: A reassessment. *Water International*, 29(2), 248-256.
- [6] Cairncross, S., & Feachem, R.G. (1993). *Environmental Health Engineering in the Tropics: An Introductory Text*. Wiley.
- [7] Falkenmark, M. (1997). Society's interaction with the water cycle: A conceptual framework for a more holistic approach. *Hydrological Sciences Journal*, 42(4), 451-466.
- [8] Gleick, P.H. (2000). The changing water paradigm: A look at twenty-first century water resources development. *Water International*, 25(1), 127-138.
- [9] Pahl-Wostl, C., Holtz, G., Kastens, B., & Knieper, C. (2016). Analyzing complex water governance regimes: The Management and Transition Framework. *Environmental Science & Policy*, 9, 571-581.
- [10] Sadoff, C.W., & Grey, D. (2002). Beyond the river: The benefits of cooperation on international rivers. *Water Policy*, 4(5), 389-403.
- [11] Swyngedouw, E. (2004). *Social power and the urbanization of water: Flows of power*. Oxford University Press.
- [12] UN Water. (2018). *Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation*.
- [13] Van der Zaag, P., & Savenije, H.H.G. (2006). Water as an economic good: The value of pricing and the failure of markets. *Water Policy*, 8(1), 94-106.
- [14] WHO (World Health Organization). (2017). *Guidelines for drinking-water quality*, 4th edition. Geneva: WHO Press.

Dynamique des écosystèmes steppiques dans un environnement changeant : Cas de la région de Ain-Skhouna (Wilaya de Saida – Algérie occidentale)

Okkacha Hasnaoui^{1,2}; Sid Ahmed Aouadj^{2,3}; Abdelkrim Benaradj^{2,4} et Abdeslam Morsli⁵;

1- Faculté SNV ; Départ. Agronomie ; Université Dr Moulay Tahar- Saida – Algérie

2- Laboratoire d'écologie et gestions des écosystèmes naturels – Université de Tlemcen- Algérie

3- Faculté des Sciences et technologie ; Département de Biologie- Relizane ; Algérie

4- Centre universitaire de Naama- Institut des Sciences- Départ. Scie. Agro. Algérie

5- I.N.R.F Ain-Skhouna – Saida ; Algérie

Résumé

Devant la surexploitation des ressources naturelles et les changements climatiques les différents écosystèmes du pourtour méditerranéen sont devenus vulnérable. Nombreuses espèces tant végétales qu'animales sont fragiles et sont exposées à une disparition. Les écosystèmes des hauts plateaux algériens n'échappent pas à ce fléau ; de ce fait ils représentent un exemple d'étude très intéressant. Dans le cadre de cette étude nous nous sommes intéressés à identifier les espèces végétales steppiques de la région de Ain Skhouna (Wilaya de Saida- Algérie occidentale) d'une part et quantifier leurs phytomasses aériennes d'autres part. Cette partie des hauts plateaux algériens se compose essentiellement de trois formations végétales : i) Formation à *Stipa tenacissima*, ii) Formation à *Artemisia herba alba* ; iii) Formation à *Lygeum spartum*. Devant les changements globaux que connaît la partie ouest algérienne ces formations sont devenues fragiles. Dans cette région du sud-ouest algérien on retrouve trois faciès pour chaque formation : dégradé, moyennement dégradé et bien venant. Ces formations steppiques jouent un rôle écologique et socioéconomique importants et sont menacées de disparition sous l'effet de la synergie anthropico-climatique (surexploitation des parcours, défrichement et des fluctuations climatiques). Afin d'aboutir à nos attentes nous avons considéré que la phytomasse aérienne est un bon indicateur de la dynamique végétale ; de ce fait nous avons fait un échantillonnage aléatoire basé sur des quadras de 100 m². Dans chaque faciès nous avons retenu 10 quadras dans chaque formation. Les résultats obtenus sont révélateurs puisque toutes les formations connaissent un recul important sur le plan floristique ; avec la disparition de certaines espèces et une régression de la biomasse aérienne de l'ordre de 82% en moyenne. Cette situation induit un départ de la couche arable du sol et l'accélération du processus d'ensablement. Ainsi la biomasse de *Stipa* régresse de 81,7 % Kg MS/Ha et sa strate herbacée de 90, 2 %. La formation à *Artemisia herba alba* connaît une diminution de 81,4 % pour *Artemisia* et 87,4% pour les annuelles. Pour *Lygeum*, la phytomasse diminue de 81,5 % et de 81,75 % pour les herbacées. Globalement la rétrogradation des formations est une réalité à prendre au sérieux : par les décideurs et des déterminations doivent être prise afin de préserver le reste du patrimoine phylogénétique de la région d'étude.

Mots clés : écosystème steppique ; identification ; quantification ; phytomasse ; dynamique ; Ain Skhouna- Algérie

Dynamics of steppe ecosystems in a changing environment: Case of the Ain-Skhouna region (Wilaya of Saida – Western Algeria)

Abstract

Faced with the overexploitation of natural resources and climate change, the various ecosystems around the Mediterranean have become vulnerable. Many plant and animal species are fragile and are at risk of disappearing. The ecosystems of the Algerian highlands are not immune to this scourge; therefore they represent a very interesting example of study. As part of this study we are interested in identifying the steppe plant species of the Ain Skhouna region (Wilaya of Saida-western Algeria) on the one hand and quantifying their aerial phytomasses on the other hand. This part of the Algerian highlands is essentially composed of three plant formations : i) Formation of *Stipa tenacissima*, ii) Formation of *Artemisia herba alba*; iii) *Lygeum spartum* training. Faced with the global changes that the western part of Algeria is experiencing, these formations have become fragile. In this region of southwest Algeria we find three faciès for each formation: degraded, moderately degraded and good. These steppe formations play an important ecological and socio-economic role and are threatened with disappearance under the effect of anthropico-climatic synergy (overexploitation of rangelands, land clearing and climatic fluctuations). In order to meet our expectations, we considered that phytomass is a good indicator of plant dynamics; therefore we did a random sampling based on quadras of 100 m². In each faciès we retained 10 quadras in each formation. The results obtained are revealing since all the formations are experiencing a significant decline in terms of floristics; with the disappearance of certain species and a decline in aboveground biomass which is around 82% on average. This situation induces a departure of the topsoil from the soil and the acceleration of the empowerment process. Thus the biomass of *Stipa* decreased by 81.7% Kg DM/Ha and its herbaceous stratum by 90.2%. *Artemisia herba alba* formation has decreased by 81.4% for *Artemisia* and 87.4% for annuals. For *Lygeum*, the phytomass decreases by 81.5% and by 81.75% for herbaceous plants. Overall, the downgrading of formations is a reality to be taken seriously by decision-makers and determinations must be made in order to preserve the rest of the plant genetic heritage of the study region.

Keywords: steppe ecosystem; identification; quantification; phytomass; dynamic; Ain Skhouna- Algeria

¹ Corresponding author: okkacha.hasnaoui@univ-saida.dz

I. INTRODUCTION

Les steppes algériennes sont dominées par quatre grands types de formations végétales : les steppes graminéennes à base d'alfa (*Stipa tenacissima*) et de sparte (*Lygeum spartum*) qui constituent des parcours médiocres et les steppes chamaephytiques à base d'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) dont les valeurs pastorales sont très appréciables et de *Hamada scoparia* localisées sur les regs [1]. Toutes les formations végétales de l'espace steppique sont utilisées comme ressource fourragères et sont surexploitées par les troupeaux et la population [2]. De la « mer d'alfa » décrite par Trabut [3] et dont la superficie avait été évaluée à 3 976 174 ha par le gouvernement général d'Algérie en 1921, il ne reste que 2 025 864 ha [4]. En 70 ans, la nappe alfatière a profondément régressé [5-16]. La pression exercée sur cette ressource, en absence d'une politique d'aménagement rationnel des parcours steppiques, compromet gravement la survie des espèces clés de voûte des formations steppiques et qui sont *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba-alba* et *Lygeum spartum*. La pression anthropozoogène pratiquée sur cet espace se traduit par une diminution de la biomasse aérienne avec toutes les conséquences écologiques et socioéconomiques qui en découlent [2]. Le présent travail a pour objectif principal de quantifier la phytomasse aérienne des trois faciès de *Stipa tenacissima* ; *Artemisia herba alba* et *Lygeum spartum* afin d'apprécier la dynamique évolutive des formations steppiques dans cette partie ouest des hauts plateaux algérien d'un côté et restreindre la détérioration de ces bio-ressources de l'autre côté. Malgré les différents dispositifs mis en place par les pouvoirs publics et les décideurs ; la dégradation et l'accélération du processus de désertification ne cesse de s'alourdir et un non-retour à l'équilibre écologique n'est pas à écarter.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

I. Caractérisation de la zone d'étude

1.1. Localisation

La zone d'Ain-Skhouna s'étend sur une superficie de 500 km² ; ces coordonnées géographiques sont 34° 30' 20" nord, 0° 50' 59" est ; elle est située sur les hautes plaines steppiques ouest en bordure Nord de la partie orientale du Chott Chergui (Fig. 1). Elle est limitée au sud par la commune de Rogassa (El Bayadh), à l'Est et au nord par la wilaya de Tiaret et au nord-ouest par la commune de Maamoura (Wilaya de Saïda).

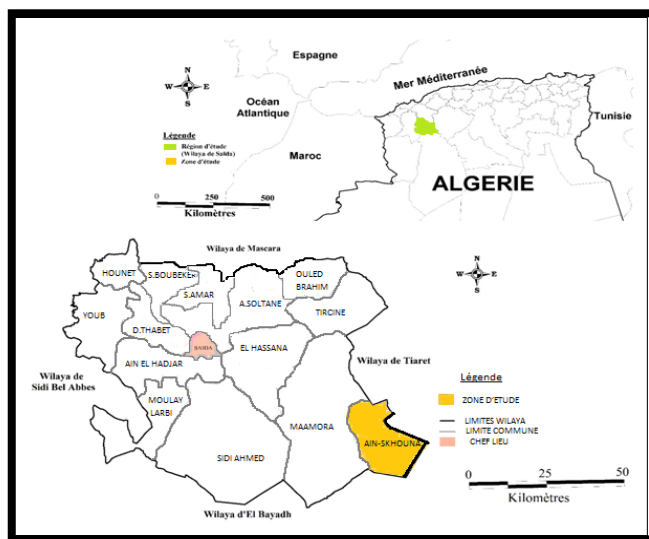


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude [13]

1.2. Climat et bioclimat

Les relevés des précipitations sur une période de soixante-dix ans (1948-2018) au niveau de la station météorologique d'Ain Skhouna donnent une moyenne annuelle de 281 mm. Les mois pluvieux se situent entre Octobre et Mai, correspondant à plus de 75 % de la pluviométrie annuelle moyenne (Fig. 2).

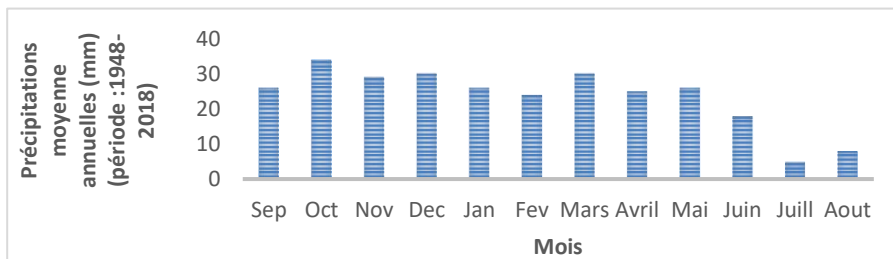


Fig. 2. Variations moyennes mensuelles des précipitations du milieu d'étude

Les températures moyennes baissent progressivement jusqu'à atteindre leur minimum au mois de janvier (2,5 °C), les plus élevées (36 °C) sont observées aux mois de juillet et Août. La région est caractérisée par un mois humide (Janvier), 4 mois sub-secs et 7 mois secs. L'évapotranspiration est assez forte durant la période de Mai à Septembre, l'ETP enregistrée au mois de Juillet est de 173,3 mm et celle du mois d'Août 163,40 mm [17]. Le nombre de jours des vents asséchants (sirocco) ne cesse d'augmenter ; il a été à 14 jours/an il y a de cela une décennie [13].

1.3. Les aspects édaphiques

Les sols relèvent du type salin développé sur un substratum constitué de croûte calcaire et de limons argileux, marneux et d'argile rouge. Les sols sableux sont localisés aux bordures du chott (apport éolien) et les sols alluvions (les plus profonds) ne couvrent que quelques dépressions. Cette diversité édaphique permet le développement d'une diversité floristique connue et exploitée par les habitants.

1.4. Les aspects humains

La population de la zone connaît un accroissement important, elle est passée de 4500 habitant en 1977 à 7272 habitants en 2009 et avoisine les 10 000 actuellement dont 1800 dans l'agglomération secondaire de Zeraguet, avec principalement 500 nomades et 800 en zones épars [18]). L'activité économique de la région s'articule essentiellement autour du secteur agricole et de l'élevage avec un cheptel totalisant en 15000 équivalents ovins détenus par 600 agriculteurs et 100 éleveurs. La pression sur les formations végétales steppiques est forte puisque la charge pastorale est supérieure à 5 équivalent ovin/ha alors que les possibilités ne sont que de 0.5 [19].

2. Matériels et méthode

Pour évaluer la biomasse des trois formations végétales dominantes dans la steppe, un zonage écologique a été effectué grâce aux différentes sorties sur terrain ce qui nous a permis de caractériser la végétation d'une part et connaître les contraintes que subit la diversité floristique. Selon l'état de la végétation trois faciès ont été retenus pour chaque formation et cela en fonction du degré de dégradation de la végétation : dégradé, moyennement dégradé et bien venant. L'échantillonnage subjectif a été retenu puisque les parcelles de 100 m² s'inscrivent dans des zones homogènes [20].

L'estimation de la phytomasse aérienne permet d'apprécier la tendance évolutive et/ou régressive d'un écosystème. Dix répétitions (dix mesures) ont été faites pour les trois formations et dans chaque faciès ; à savoir : *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba alba* et *Lygeum spartum*. Globalement 90 quadrats de 100 m² chacun ont fait l'objet de mesures. La technique destructive (coupe à ras de sol) a été employée. Lors de notre

travail nous avons pris le soin de séparer les espèces pérennes (vivaces) d'un côté et les annuelles de l'autre. Le poids a été estimé avec une balance de précision de 1000 grammes. L'extrapolation des résultats obtenus à l'hectare a permis de caractériser la biomasse servant généralement de ressources fourragères des parcours steppiques de la région d'Ain-Skhouna.

3. Résultats et discussion

La dynamique des écosystèmes est sous la dépendance de la synergie climato-anthropique. La régénération et/ou la dégradation des plantes dépendent de ces facteurs. Les résultats obtenus sont représentés graphiquement pour chaque de figure.

3.1. Phytomasse du faciès à *Stipa tenacissima*

Selon les travaux de Aidoud et Nedjaroui [20] la phytomasse totale des steppes à *Stipa tenacissima* peut atteindre 10 tonnes MS/ha ; mais la partie verte qui est la partie exploitable a une production de 1000 à 1500 kg MS/ha. Il est à noter que *Stipa* présente une faible valeur fourragère de 0,3 à 0,5 UF/KgMS selon le recouvrement et le cortège floristique [21]. Il faut rappeler le terme d'alfa avait évoqué en 1889; ce qui signifie que la production aérienne de cette formation est très importante en terme de productivité [3]. Dans notre cas on note une disparité en terme de résultats obtenus selon le cas :

3.1.1 Faciès à *Stipa tenacissima* bien venant (ABV).

Le faciès bien venant offre une phytomasse moyenne de 1405 kg MS/ha pour les espèces vivaces et seulement 627 kg MS/ha pour les espèces annuelles. Ces résultats corroborent globalement avec ceux de [22]. Les biomasses restent assez intéressantes dans les conditions environnementales tant climatiques qu'anthropiques. La figure 3 représente les moyennes des phytomasses aériennes pour *Stipa* et pour les annuelles.

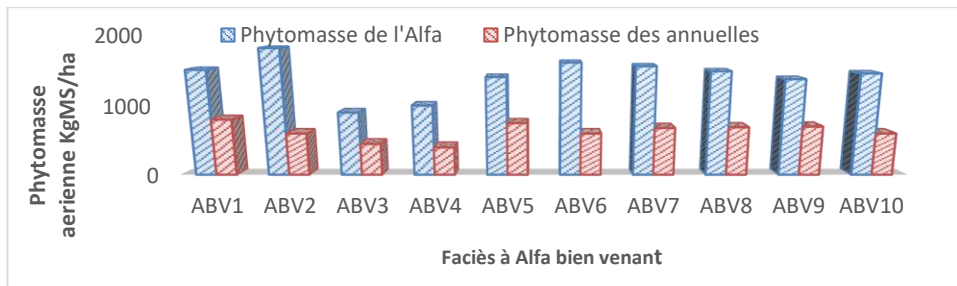


Fig. 3. Evaluation de la phytomasse des faciès à Alfa bien venants.

3.1.2. Faciès à *Stipa tenacissima* moyennement dégradés (AMD).

La phytomasse de *Stipa* atteint 651 kg MS/ha alors que les herbacées n'offrent que 160 KG MS/ha comme le confirment les résultats consignés dans la figure 4.

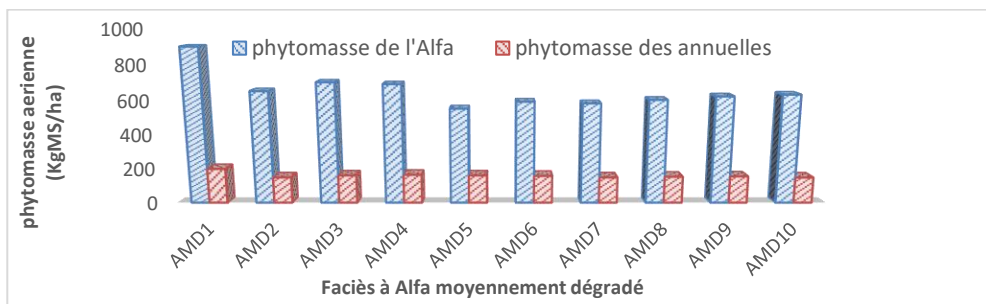


Fig. 4. Evaluation de la phytomasse des faciès à Alfa moyennement dégradé.

3.1.3. Faciès à *Stipa tenacissima* dégradé (AD).

Les chiffres obtenus sont les plus faibles puisqu'ils ne sont que de 271 et 68 Kg MS/ha respectivement pour *Stipa* et les espèces annuelles (Fig. 5).

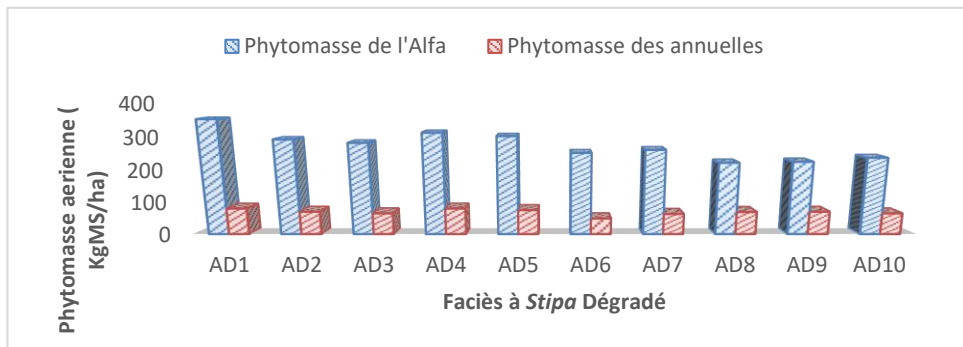


Fig. 5. Evaluation de la phytomasse des faciès à *Stipa* dégradé.

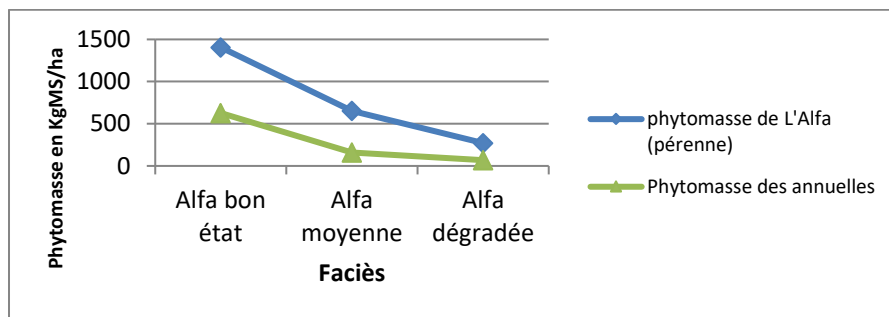


Fig. 6. Evolution de la phytomasse aérienne de l'Alfa selon l'état des faciès

Nous constatons que les résultats pour l'alfa bien venant sont proches de ceux de Aidoud [22]. Les touffes d'alfa sont inhérentes. Ceci reste nommément vrai pour l'alfa bien venant ; cependant la comparaison avec les autres faciès montre une dynamique régressive. Ainsi la phytomasse connaît une diminution très importante puisqu'elle passe de 1405 à seulement 271 Kg MS/ha pour *Stipa* et de 627 à 62 Kg MS/ha pour les annuelles ; soit une réduction de 81,7% pour *Stipa* et de 90,2% pour les annuelles. Cette régression de la phytomasse constitue un indicateur écologique inquiétant quand à l'avenir des ces formations. Il y a lieu de signaler que Nedjraoui [1] notait dans les mêmes formations et dans la même région une biomasse oscillant entre 1000 et 1500 Kg MS/ha pour les formations bien venantes. Dans le même contexte Aidoud [23] a estimé la biomasse verte de l'alfa à 1750 Kg MS/ha. Comparativement une baisse notable a été constatée. La figure 6 montre le recul en terme de production dans les trois formations à *Stipa*. La déperdition en terme de Kg Ms/ha est importante.

3.2. Faciès à *Artemisia herba alba* :

Selon les travaux de Nedjaoui [1] les steppes à *Artemisia herba alba* offre une production primaire de 500 à 4500 Kg MS/ha pour les espèces vivaces et un total de 1 000 Kg MS/ha pour les annuelles. La production annuelle consommable est de 500 Kg MS/ha, soit une productivité pastorale moyenne de 150 à 200 UF/ha. Dans notre cas la phytomasse aérienne dans les faciès à *Artemisia herba alba* en bon état (bien venant) est de 4338 Kg MS/ha ; ceci coïncide avec les données de Nedjraoui [1]. Cependant les deux autres faciès (AMD et AD) sont marqués par une régression assez importante. Les résultats sont reportés dans la figure 6. La comparaison de la biomasse calculée dans les trois faciès ; récapitulée dans la figure 6 ; met en

évidence l'état de dégradation des parcours à *Artemisia herba alba*, puisque la biomasse a chuté de 81,4 % pour les vivaces et de 87,4% pour les annuelles.

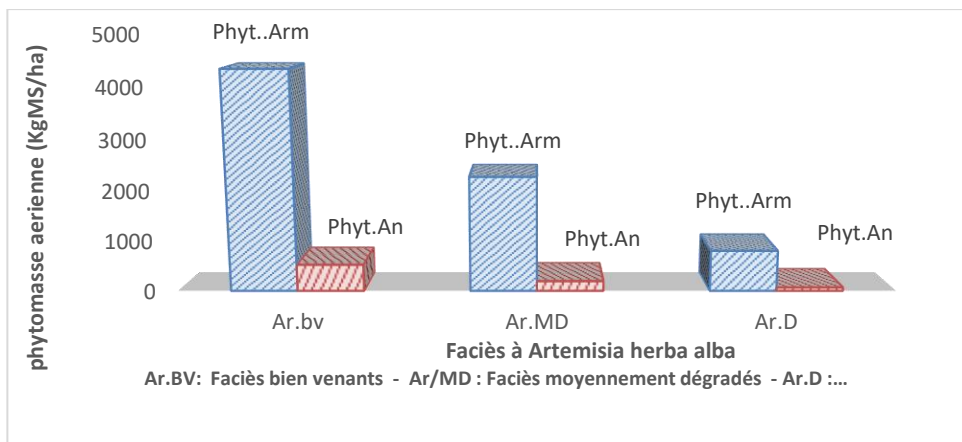


Fig. 6. Evolution de la biomasse aérienne dans les différents faciès à *Artemisia herba alba*.

3.3. Faciès à *Lygeum spartum*

Les steppes à *Lygeum spartum* sont peu productives ; une production moyenne annuelle variant de 300 à 500 Kg MS/ha, a été enregistrée. Il faut noter que ces formations constituent des parcours pastorales d'assez bonne qualité. Leur intérêt vient de leur diversité floristique et de leur productivité relativement élevée en espèces annuelles et petites vivaces. Selon les travaux de Nedjaoui [1] la phytomasse est de 110 Kg MS/ha en moyenne. Toutefois les valeurs enregistrées dans notre cas sont contrastées et une régression nette a été observée.

3.3.1. Faciès à *Lygeum spartum* bien venants(LYBV)

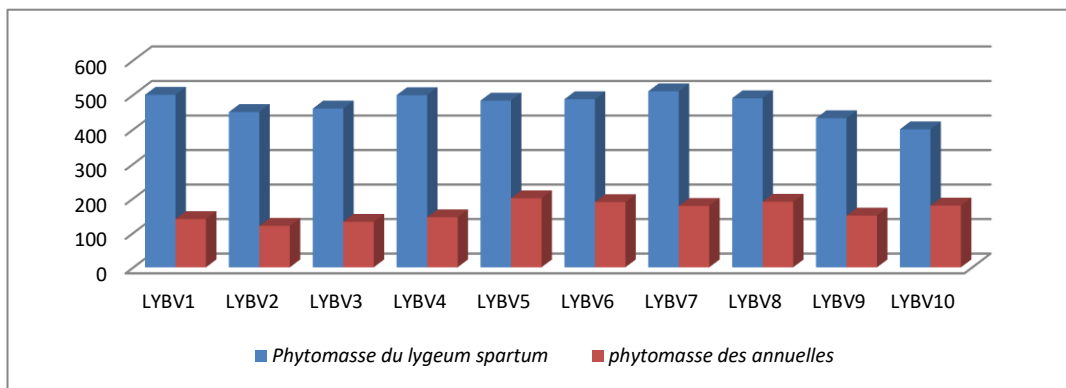


Fig. 7. Biomasse brute des faciès à *Lygeum spartum* en bon état.

La moyenne de la phytomasse des pérennes des faciès bien venants passe de 471 KgMS/ha à seulement 87 KgMS/ha (Figure 7). La phytomasse des annuelles est relativement importante dans les faciès moyennement dégradés, elle représente 30,90 % de la biomasse totale du faciès par contre elle n'est que de 25,62 % dans les bien venants et 26,44% dans les faciès dégradés.

3.3.2. Faciès à *Lygeum spartum* moyennement dégradés(LYMD)

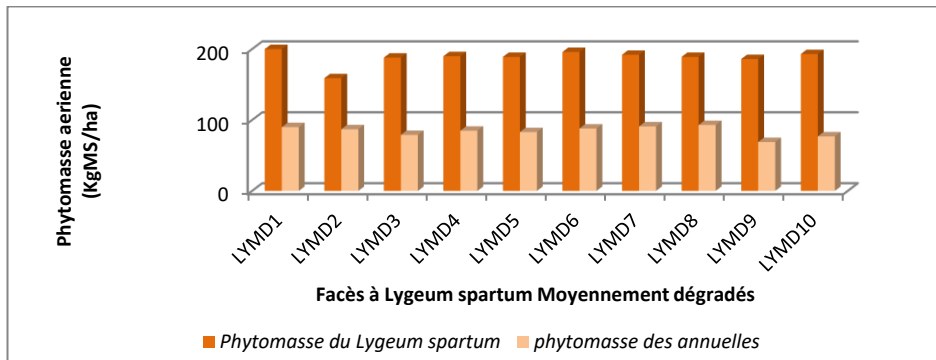


Fig. 8. Biomasse brute des faciès à *Lygeum spartum* moyennement dégradés.

3.3.3. Facies à *Lygeum spartum* dégradés(LYD)

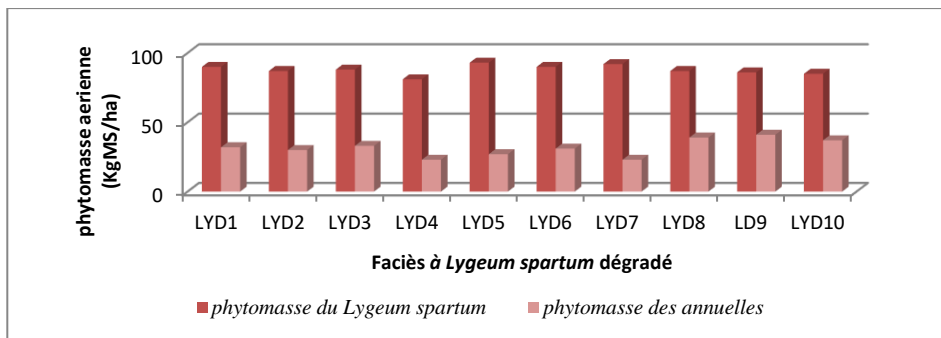


Fig. 9. Biomasse brute des faciès à *Lygeum spartum* dégradés.

La phytomasse moyenne de *Lygeum* est de 85 kg MS/Ha et de seulement 31 Kg MS/Ha pour les annuelles soit une régression importante par rapport au faciès bien venant de l'ordre de 80% *Lygeum* et 80% pour les annuelles (Figure 9).

CONCLUSION

La phytomasse aérienne des espèces steppiques est l'expression par excellence de son état en vigueur. La régression des formations steppiques est une réalité. Les résultats obtenus confirment la régression importante de la phytomasse aérienne des formations steppiques, non soumises à protection, avec toutes les conséquences écologiques et socioéconomiques qui en découlent. La phytomasse aérienne dans les trois formations étudiées a connu une diminution significative. Comparativement la rétrogradation entre les formations bien venantes et les dégradées est de l'ordre de 82% en moyenne dans les différents faciès. Nous avons noté une déperdition spécifique et de nombreuses espèces sont éteintes et/ou menacées de disparaître. Ce recul est un indicateur permettant d'alerter sur la prédisposition de ces écosystèmes à l'ensablement à cause de la faible couverture du sol.

Malgré les différentes solutions prises par les décideurs, la dynamique régressive ne cesse de s'accroître. Les espèces fourragères sont menacées par une disparition même si quelques tentatives de conservation et de préservation sont mises en place par les autorités locales voir nationales. L'impact est tellement important que le rééquilibrage reste difficile à atteindre. Dans son analyse en utilisant le SWOT [24] dégage

les menaces qui pèsent sur les écosystèmes steppiques et qui sont : le changement climatique et la grande dépendance de l'élevage aux parcours malgré le faible apport en valeur fourragère.

Devant l'amplification de la régression des écosystèmes steppiques et vu le recul continue il sera plus judicieux de penser à la création d'une banque de graines d'une part et faire appel à la biotechnologie végétale dans le but de valoriser le clonage des espèces steppiques phares d'autres part. Nous pensons que cette approche permettra la stabilité des formations et le retour à un équilibre écologique.

Références

- [1] D. Nedjraoui, Les ressources pastorales en Algérie. Doc FAO (2002) (en ligne : www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/Algeria/Algerie.htm).
- [2] K. Benabdeli, A. Benguerai et H. Yerou, L'utilisation de l'espace steppique comme terrain de parcours entre identification, potentialités, utilisation et contraintes socio-écologiques en Algérie. Revue de l'écologie-environnement n°04-novembre (2008) 54-67
- [3] L. Trabut. Etude sur l'alfa. Jourdan, (1889) Alger, 90 p
- [4] CNTS (Centre National de Télédétection Spatiale, Arzew). Inventaire des nappes alfatières des wilayates. Rapp CNTS, (1989), 15 p.
- [5] CRBT (Centre de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres), Rapport phytoécologique et pastorales sur les Hautes Plaines steppiques de la Wilaya de Saida CRBT, Alg.er, (1978) 256 p.
- [6] S. Djebaili, Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas Saharien. OPU. Alger, (1984) 177 p.
- [7] A. Aidoud, and J. Touffet, Regression of Alfa (*Stipa tenacissima* L.), Perennial Grass, an Indicator of Desertification the Algerian Steppe. Sécheresse, 7, (1996) 187-193.
- [8] K. Benabdeli, Évaluation de l'impact des nouveaux modes d'élevage sur l'espace et l'environnement Steppique Commune de Ras El Ma (Sidi Bel Abbes-Algérie) Options Méditerranéennes, Sér. A /n°39, (2000) 130-141.
- [9] H. Kadi-Hanifi, Diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie. Sécheresse, 14, (2003)169-179.
- [10] M. Bouazza, N. Benabadji, R. Loisel., & G. Metge, Evolution de la végétation steppique dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie). Ecologia Mediterranea, 30, (2004) 219-31.
- [11] DGF. (Direction Générale des Forêts), Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de lutte contre la Désertification. Alger, (2004). <http://www.unccd.int/cop/reports/africa/national/2004/algeria-fre.pdf>
- [12] D. Nedjraoui et S. Bedrani, La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 8 Numéro 1 (2008) : <http://vertigo.revues.org/5375> ; DOI : 10.4000/vertigo.5375
- [13] O. Hasnaoui , H. Meziane , A. H. Borsali, M. Bouazza, Evaluation of Characteristics Floristico-Edaphic of the Steppes at Alfa (*Stipa tenacissima* L.) in the Saida Region (Western Algeria) Open Journal of Ecology, 4, (2014), 883-891 ; <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2014.414074>
- [14] A. Moulay, K. Benabdeli et A. Morsli, Contribution à l'identification des principaux facteurs de dégradation des steppes à *Stipa tenacissima* du sud-ouest Algérien, Mediterranea: Serie de Estudios Biológicos, N°. 22, (2011) 149-188
- [15] M. Henni, Spatio-Temporal Evolution of Vegetation and Soil in *Atriplex canescens* and Role of the Species in Improving Feed Provides Degraded Steppe Rangelands of the Wilaya of Saida (Western Algeria). Ph.D. Thesis, Djillali Liabes University of Sidi Bel-Abbes, Algeria. (2014)
- [16] K. Cherifi, A. Bouker, M. Benabbou, D. Guemour et O. Hasnaoui ; Influence du pâturage sur la phytodiversité et la variation de la composition chimique de cinq plantes broutées dans le mont de Tessala (Algérie nord occidentale) Acta Botanica Malacitana 46 (2021). 31-44 ; <http://doi.org/10.24310/abm.v46i.11929>
- [17] Moulay A., 2013.contribution à l'étude de la régénération naturelle et artificielle de *Stipa tenacissima* L. dans la région steppique occidentale (Algérie). Thèse doctorat, Inst Biologie, Univ. Mascara, 172p.

- [18] APC Ain Skhouna
- [19] K, Benabdeli, Impact socio-économique et écolo-gique de la privatisation des terres sur la gestion des espaces et la conduite des troupeaux : cas de la com-mune de Télagh (Algérie). Options méditerranéennes n°32 : (1996) 185-194.
- [20] Gounot, M. (1969). Méthodes d'études quantitatives de la végétation. Éditions Masson et Cie. Paris. 314 p
- [21] A. Aidoud et D. Nedjraoui, The steppes of alfa (*Stipa tenacissima* L) and their utilisation by sheeps. In Plant animal ineractions in mediterrean-type ecosystems.MEDECOS VI, Grèce. (1992) 62-67
- [22] A. Aidoud, Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques pâturés. Thèse Doct., Univ. Sci. Technol. H. Boumediene (1989), Alger.
- [23] A. Aidoud, La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. Sécheresse, 7, (1996) 87-93.
- [24] A.T. Youcefi : Approche intégrée en vue de l'aménagement agro-pastoral et de la gestion durable de l'espace steppique. Étude de cas de la wilaya de Naâma ; Thèse doct. LMD Centre Universitaire de Naama (Algérie) (2024) ; 222 p.

2024



Colloque-Formation International

Eau - Agriculture - Climat'2024

Et Sécurité Alimentaire

Ressources en Eau, Agriculture et Changement Climatique

10 au 15 Novembre 2024, Hammamet (Tunisie)

www.jistee.org



Eau - Agriculture - Climat'2024

Et Sécurité Alimentaire

'Ce qui compte c'est demain'

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

ASTEE Tunisie
 Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement en Tunisie
 الجمعية العلمية والفنية للمياه والبيئة التونسية
 L'Eau : Notre Métier
 L'Environnement : Notre Vie
 Le Climat : Notre Planète
 Le Développement : Notre Objectif
 La Formation : Notre Devoir
 La Recherche : Notre Avenir



International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET/JISTEE)
 ©2024 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688
 V (ix), Issue 4 –December 2024 - jistee.org/volume-ix-2024/



Colloque-Formation Internationale (EAC'2024)

10 au 15 Novembre 2024, Hammamet (Tunisie)

Eau - Agriculture - Climat'2024 Et Sécurité Alimentaire

Ressources en Eau, Agriculture et Changement Climatique

www.jistee.org



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



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

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

V (ix), Issue 4 –December 2024 - jistee.org/volume-ix-2024/

2024

13 au 14 Novembre 2024

Hammamet (Tunisie)

Formation Internationale

Eau - Agriculture - Climat'2024

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



eauclimat@yahoo.com
eauclimat@iresa.agrinet.tn

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

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

Module 3 : Modélisation Hydro-Agro-Climatologique SWAT

Module 4: Intelligence Artificielle

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

Module 6: Anglais Scientifique; Comprendre et communiquer



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

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

V (ix), Issue 4 –December 2024 - jstee.org/volume-ix-2024/



International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

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

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

Open Access

09 Volumes, 30 Issues, (426 Papers) and 1 Book



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

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

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

Issue 2 – Octobre 2024 (10 Papers) *Water, Agriculture, Climate Change and Food Security Qualitative and quantitative characterization of water resourcessue*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Open Access Journal

Volume (ix) - Issue 4 - December 2024

Water - **A**griculture - **C**limate'2024



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

Eau-Agriculture, Sécurité Alimentaire et Changement climatique

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

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