

JOURNAL INTERNATIONAL

Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement

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

Volume (vi) - Numéro 4 – Décembre 2021

Eau-Agriculture-Climat'2021



Changement Climatique, Eau et Agriculture : Quelles Stratégies ?

Rédacteur en Chef : Pr Nouredine Gaaloul

Publié par:

L'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et
l'Environnement en Tunisie (ASTEE *Tunisie*)

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (vi) - Issue 4 – December 2021

Water-Agriculture-Climate'2021



Climate Change, Water and Agriculture:
What Strategies?

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

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

"وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ"

سورة الأنبياء آية 30

Et fait de l'eau toute chose vivante

(Al-Anbiya 30)



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

Appel à contributions : Prochain numéro la revue Scientifique : JISTEE – Mars 2022

Nous coordonnons la rédaction, du numéro mois de **Mars 2022** “Eau- Santé – Climat”, (EAC-2021), qui vous est ensuite offert gratuitement en format pdf.

Le thème retenu pour 2022 est “Eau- Santé – Climat”, en vous rappelant, si besoin en était, que le changement global couvre à la fois le changement climatique et les changements anthropiques (variations d'occupation des sols et aménagements des bassins versants, prélèvements, etc.).

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

Les contributions seront attendues pour le courant du mois de **Janvier à Mars 2022** afin de pouvoir être révisées par le Comité Scientifique International et que la mise en forme du numéro ait lieu en Mars 2022 au plus tard.

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



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

Call for contributions: Next issue of the Scientific review: JISTEE – March 2022

International Journal of Water Science and Environment Technologies

We are pleased to inform you that the Vol (vii), No I of International Journal of Water Science and Environment Technologies is available at <https://jistee.org/volume-vi-2021/>. Open access Journal are freely accessible via the internet for immediate worldwide. This Journal is an Open Access International Journal and will accept research and review manuscripts ranging from, Basic research on Water, Climate, Environment, Hydrology; hydrogeology and management of water resources; Agricultural hydraulics (Irrigation, Drainage, etc.), Modeling of Water Resources (Hydraulics, Hydrology, Hydrogeology), Physico-chemical quality of Surface and groundwater; Hydrobiology, microbiology, toxicology and ecotoxicology; the structure and function of aquatic ecosystems; Water quality, wastewater treatment and drinking water; Municipal and industrial wastewater treatment; Management of water resources (quantitative, socio-economic and legal aspects) ,...

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

to our online direct submission area, located here:

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

Comité Scientifique International (CSI-EC'2021) International Scientific Committee (ISC-EC'2021)

Nouredine Gaaloul	Prof. Université de Carthage – IRESA- INRGREF (Tunisie)
Hamadi Habaieb	Prof. Université de Carthage – IRESA- IN-AT (Tunisie)
Zouhaier Nasr	Prof. Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)
Mohamed Hachicha	Prof. Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)
Zouhaier Hlaoui	Prof. Université de Tunis - Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis (Tunisie)
Adel Kharroubi	Prof. Université de Gabès – ISSTEG (Tunisie)
Rachid Boukchicha	M.Conf. Université de Gabès – ISSTEG (Tunisie)
Nouredine Hamdi	Prof. Université de Gabès – ISSTEG (Tunisie)
Taoufik Hermassi	M.Conf. Université de Carthage – IRESA- INRGREF (Tunisie)
Mohamed Habib Sellami	M.Conf. Université de Jendouba – IRESA- ESIM (Tunisie)
Hechmi Belaid	M. Assistant. Université de Jendouba -IRESA- ESIM (Tunisie)
Rim Katlane	M.Conf. Université de la Manouba - Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités (Tunisie)
Ibrahim Amadou Traoré	Expert Hydrogéologue
Mohamed Meddi	Prof. ENSH, (Algérie)
Azzedine Hani	Prof. Univ. Annaba (Algérie)
Larbi Djabri	Prof. Univ. Annaba (Algérie)
Salah Eddine Ali Rahmani	Prof. Univ. des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Algérie)
Saadane Djorji	Prof. Université de Annaba (Algérie)
Mohammed Achite	Prof. Université de Chlef (Algérie)
Abdelhalim Yahiaoui	Prof. Université de Bechar (Algérie)
Mohamed Bessenasse	Prof. Université de Saad Dahlab- Blida (Algérie)
Benabadi Noury	Prof. Université de Tlemcen (Algérie)
Abdessamad Merzouk	Prof. Université de Tlemcen (Algérie)
Abdelhalim Yahiaoui	M.Conf. Univ. Bechar (Algérie)
Gnergazj Saadia	M.Conf. Université de Biskra (Algérie)
Beloulou Laroussi	M.Conf. Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Gnendouz Abdelhamid	M.Conf. Université de Blida1 (Algérie)
Khonaldia Wacila	M.Conf. Université de Souk-Ahras (Algérie)
Belkacem Bekkensa	M.Conf. Université Mustapha Stambouli de Mascara (Algérie)
Ali Essablaoui	Prof. Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)
El Onali Abdelhadi	Prof. Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)
Abdellah El Hmaidi	Prof. Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)
Imad Manssour	Prof. Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)
Abdelmajid Moumen	Prof. Université Nadour (Maroc)
Mhamed Anyay	Prof. Université de Fès (Maroc)
Abdelaziz Abdallaoui	Prof. Université Moulay Ismail (Maroc)
Amadou Thierno Gaye	Prof. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, (Sénégal)
Sousou Sambou	Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)
Diop Ngom Fatou	Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)
Soro Nagnin	Prof. UFR STRM (Côte d'Ivoire)
Gnamba Franck Maxime	Prof. UFR STRM (Côte d'Ivoire)
Soro Nagnin	Prof. UFR STRM (Côte d'Ivoire)
Cish Ngonzo Lawesi	Prof. Univ. Dem. Rep. (Congo)
Koussoubou A. Leonard	Prof. FLLAC/ UAC (Congo)
Koumassi Dégla Hervé	Prof. LACEEDE/UAC (Bénin)
Hamma Yaconba	Prof. 2iE (Burkina Faso)
Harouna Karambiri	Prof. 2iE (Burkina Faso)
Lienou Gaston	Prof. Univ. Yaoundé (Cameroun)
Gnandi Kissao	Prof. Univ. Lomé (Togo)
Hamadoun Bokar	Prof. Univ. ENI-abt (Mali)
Salina Sanou	Pan African Climate Justice Alliance (Kenya)
Saeid Eslamian	Prof. Université de Isfahan (Iran)
Amadou Gaye	Prof. CR4D (Ethiopia)
Richard Anyah	Prof. CR4D (Ethiopia)
Benjamin Lamptey	Prof. CR4D (Ethiopia)
Aqeel Al-Adili	Prof. Univ. Technology (Iraq)
Mountaz Razack	Prof. Université de 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. Darmstadt (Germany)
Jean-François Delège	Prof. Univ. de Liège (Belgique)
Meriam Gaaloul	Faculté d'Architecture La Cambre Horta - Université Libre de Bruxelles (Belgique)

Préface



Dans un contexte de crise alimentaire mondiale et de changement climatique, la

question de l'eau revêt un intérêt crucial pour les activités et l'environnement humains. Au cours des dix dernières années, des inondations, des tempêtes, des vagues de chaleur, des sécheresses et d'autres événements météorologiques ont provoqué plus de 90 % des catastrophes naturelles majeures. L'intensité et la fréquence de ces événements devraient s'accroître en raison du changement climatique. Dans ce contexte et en vue de mettre un terme à toute forme de pauvreté et de faim, de lutter contre les inégalités et d'aborder le problème du changement climatique, les pays ont adopté en 2015 la résolution « Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030 ». Ses 17 objectifs de développement durable (ODD) sont interconnectés et destinés à se soutenir mutuellement. Ainsi, l'ODD 6 (Garantir l'accès de toutes et tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau), soutient la réalisation des 16 autres ODD. La réalisation de l'ODD 6 et d'autres objectifs liés à l'eau et aux écosystèmes est essentielle à la santé et au bien-être des populations, à l'amélioration de la nutrition, à l'éradication de la faim, à la construction de la paix et de la stabilité, à la préservation des écosystèmes et de la biodiversité, ainsi qu'à la sécurité énergétique et alimentaire.

L'eau constitue également un élément fondamental des économies locales et nationales. La gestion de l'eau bien pensée favorise l'égalité entre les femmes et les hommes et l'intégration sociale, et encourage la création et le maintien des emplois dans tous les secteurs de l'économie. L'eau est l'élément par lequel de nombreux effets de la crise climatique sont ressentis par la société, notamment à travers les secteurs de l'énergie, de l'agriculture, de la santé et des transports. Ces impacts sont subordonnés à des facteurs de changement non climatiques comme la croissance démographique, les migrations, le développement économique, l'urbanisation et les évolutions environnementales et géomorphologiques naturelles ou liées à l'utilisation des sols, qui compromettent la durabilité des ressources en diminuant les réserves d'eau ou en augmentant la demande.

Selon le GIEC, « il existe un rapport de réciprocité entre les mesures d'atténuation du changement climatique et l'eau ». Les mesures mises en place pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) ont des répercussions directes sur la gestion et l'utilisation des ressources en eau. Inversement, les mesures d'extraction et de gestion de l'eau ont un impact sur les émissions de carbone en raison de l'intensité énergétique des activités de traitement et de distribution de l'eau. Par exemple, une étude a montré que les activités de réduction des émissions de GES dépendent souvent d'un apport stable en eau de qualité et, dans la même étude, plus de la moitié des sociétés interrogées ont déclaré qu'une meilleure gestion de l'eau permettait de réduire les gaz à effet de serre.

Les stratégies d'atténuation dans le domaine de l'eau peuvent être classées en deux grandes catégories : celles fondées sur la nature et celles basées sur la technologie. Les Solutions Fondées sur la Nature (SfN) sont un moyen indispensable de dépasser les pratiques habituelles afin de répondre à de nombreux enjeux planétaires relatifs à l'eau, et d'apporter dans le même temps des avantages supplémentaires dans tous les domaines du développement durable. Les SfN utilisent ou reproduisent les processus naturels pour accroître la disponibilité en eau (par exemple, la rétention d'humidité du sol ou la recharge des nappes phréatiques), améliorer la qualité de l'eau (par exemple, les zones humides naturelles ou artificielles) et donc réduire les risques de catastrophe relatifs à l'eau et au changement climatique.

Les solutions technologiques d'atténuation du changement climatique nécessitent habituellement d'investir dans la réduction des émissions issues de l'alimentation des infrastructures hydrauliques, destinées notamment à l'approvisionnement en eau potable, au traitement des eaux usées et des eaux pluviales, et au pompage de l'eau pour l'agriculture et d'autres utilisations. Dans ce contexte, il existe différentes stratégies d'atténuation des risques relatifs à l'eau et à l'assainissement qui devraient être prises en compte dans les processus de planification et de gestion des activités de prélèvement, de distribution et de traitement de l'eau :

Le changement climatique modifie la fréquence et l'intensité des précipitations, des inondations et des sécheresses à l'origine d'incidences importantes sur l'agriculture et la production agroalimentaire. Tandis que les facteurs de stress et chocs alimentaires touchent toutes les populations, les femmes, les peuples autochtones, les agriculteurs de subsistance, les éleveurs et les pêcheurs sont frappés de façon disproportionnée. Dans les régions où la production d'aliments de base et la faim sont une source de préoccupations majeures, s'adapter au changement climatique — en particulier à sa dimension liée à l'eau — est essentiel pour réduire les menaces à court et long termes en matière de sécurité alimentaire.

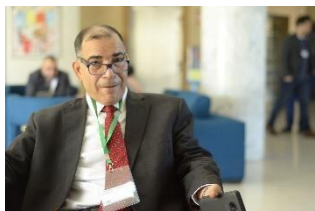
Nouredine Gaaloul

Professeur de l'Enseignement Supérieur Agricole (Université de Carthage – IRESA-INRGREF)
Fondateur et Rédacteur en Chef de la Revue Journal International Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement

Président L'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement en Tunisie (ASTEE. Tunisie)

(www.iistec.org)

Preface



In a context of the global food crisis and climate change, the issue of water is of crucial interest to human activities and the environment. Over the last decade, floods, storms, heat-waves, droughts and other weather-related events have caused more than 90 per cent of major natural disasters. These events are expected to increase in frequency and intensity because of climate change.

Against this background and with the aim to end all forms of poverty and hunger, fight inequalities and tackle climate change, countries adopted the Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development in 2015. Its 17 Sustainable Development Goals (SDGs) are interlinked and intended to support one another. For instance, “Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all” (SDG 6) supports the attainment of the other 16 SDGs. Realization of SDG 6 and other water- and ecosystem-related targets are essential for society’s health and well-being, improving nutrition, ending hunger, ensuring peace and stability, preserving ecosystems and biodiversity, and achieving energy and food security.

Water is also an essential component of national and local economies. Water management fosters gender equality and social inclusion, and supports the creation and maintenance of jobs across all sectors of the economy. Water is the medium through which many of the impacts of the climate crisis are felt by society – for example, through diverse risks to the energy, agriculture, health and transport sectors. These are conditioned by interactions with non-climatic drivers of change such as population growth, migration, economic development, urbanization, and environmental and land-use or natural geomorphic changes that challenge the sustainability of resources by decreasing water supply or increasing demand.

According to IPCC, “the relationship between climate change mitigation measures and water is a reciprocal one”. Measures introduced to reduce GHG emissions have direct implications for water resource use and management. Conversely, water extraction and management measures have an impact on carbon emissions due to the energy intensity of water treatment and distribution systems. For example, GHG emissions reduction activities often depend on a stable supply of adequate quality water while an assessment of this demonstrated that over half of companies surveyed reported that better water management was delivering GHG reductions.

Mitigation strategies in the context of water can be broadly classified as nature based or technology driven. Nature-based solutions (NbSs) offer a vital means of moving beyond business as usual to address many of the world’s water challenges while simultaneously delivering additional benefits vital to all aspects of sustainable development. NbSs use or mimic natural processes to enhance water availability (for example, soil moisture retention or groundwater recharge), improve water quality (for example, natural and constructed wetlands), reducing then the risks associated with water-related disasters and climate change.

Technology-driven climate change mitigation options usually require investment in reducing emissions from powering water infrastructure, including for provision of drinking water, treatment of waste and storm water, and pumping water for agriculture and other uses. In this context, there are different water- and sanitation-related mitigation strategies that ought to be considered for planning and management processes in the extraction, distribution and treatment of water.

Climate change alters the frequency and intensity of rainfall, floods and droughts, causing significant impacts on agriculture and food production. While food shocks and stressors affect all people, women, indigenous populations, subsistence farmers, pastoralists and fishers are disproportionately affected.⁴⁴ In regions where basic food production and hunger are significant concerns, addressing climate adaptation – especially through water-related impacts – is essential to reduce long- and short-term threats to food security.

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).

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

Founder and Chief Editor International Journal Water Science and Environment Technologies
(www.ijsstee.org)



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

06 Volumes, 19 Numéros, (310 Articles)

06 Volumes, 19 Issues, (310 Papers)

International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Copyright © 2021 – Jistee Tous droits réservés





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



Sommaire

Etat de potabilité de l'eau de consommation de la ville de Mao, province du kanem au Tchad : Constats et perspectives	9
Epolyste Adjefia (<i>Ecole Normale Supérieure de N'Djamena - Tchad</i>), Kaziri Adeline, Ayambi Goutima	
L'eau potable dans l'arrondissement urbain de kpomasse (sud ouest benin) : sources et modes de gestion	20
Sylvain A. Vissoh (<i>Université Abomey-Calavi - Bénin</i>)	
Contribution à l'étude de l'effet de la mise en défens sur la composition floristique	27
Benabdelmoumene Fatna (<i>Université de Tlemcen - Algérie</i>), Benabadji Noury	
Paramètres physicochimique et biologique des eaux souterraines en zone inter-dunaire en lien avec leurs aptitudes agricoles : cas des cuvettes oasiennes de N'Gaouri, département de Goudoumaria (Niger)	32
Assane Anabi Toudjani (<i>Université de Diffa - Niger</i>), Nassirou Yacouba Yacouba	
Croissance démographique et dégradation de l'environnement dans la ville d'agoue au Bénin	41
Cyr Gervais Etene (<i>Université Abomey-Calavi - Bénin</i>)	
Facteurs biophysiques et techniques de production de bananes dans l'arrondissement de kpanroun (commune d'Abomey-Calavi) au Bénin	49
Abdoulaye Djafarou (<i>Université Abomey-Calavi - Bénin</i>), Yessoufou Ahoudou Waliou, Sedjame Rufine Ablawa	
Production, processing and marketing of oil palm (<i>Elaeis Guineensis</i>) derivatives in the district of attogon (Municipality of Allada)	59
Tchaou Ahognisso Gabin (<i>Université d'Abomey-Calavi - RDC</i>)	
Status of water resources and Climate change in Maghreb regions (Mauritania, Morocco, Algeria, Tunisia and Libya)	67
Gaaloul Noureddine (<i>University of Carthage – INRGREF - Tunisia</i>), Saïed Eslamian, Rim Katlane	



Etat de potabilité de l'eau de consommation de la ville de Mao, province du Kanem au Tchad : Constats et perspectives

Epolyste Adjeffa¹, Kaziri Adeline², Ayambi Goutima³

¹ Département de Géographie, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena, BP : 460 N'Djamena, Tchad

² Département de SVT, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena, BP : 460 N'Djamena, Tchad

³ Département des Sciences de l'Education, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena, BP : 460 N'Djamena, Tchad

RÉSUMÉ

Des investigations sur l'état de potabilité de l'eau de consommation de la ville de Mao, dans la province du Kanem au Tchad ont été réalisées en 2000. Trois informations (i) l'analyse physico-chimique (ii) l'analyse bactériologique et (iii) les mesures piézométriques des points d'eau ont été croisées. Les résultats montrent que 25% des points d'eau échantillonnés présentent des concentrations anormales en nitrates, en fer total et en ammonium respectivement de 55mg/l, 1.85mg/l et 0.65mg/l qui sont des valeurs au-delà de la limite de la norme nationale. Ces concentrations anormales des éléments chimiques pourraient avoir des origines liées aux activités humaines. L'analyse bactériologique détecte des coliformes fécaux, d'*Escherichia coli*, des entérocoques fécaux et flores aérobies totales dans 35% des ouvrages échantillonnés et analysés. Enfin, les mesures piézométriques montrent globalement un faible niveau piézométrique dans la ville et mettent en évidence deux dômes piézométriques au centre de la ville qui orientent le sens de l'écoulement des eaux souterraines dans tous les sens, convergeant vers la périphérie de la ville

Mots clés : Analyse physico-chimique, Analyse bactériologique, Mesures piézométriques, potabilité, Mao, Tchad

State potability of drinking water in the city of Mao, Kanem province in Chad: Observations and Outlook

Abstract

Investigations on the state of potability of the city of Mao water consumption in the Kanem province in Chad were carried out in 2000. Three pieces of information (i) the physico-chemical analysis (ii) the bacteriological analysis and (iii) the piezometric measurements of the water points were crossed. The results show that 25% of the sampled water points have abnormal concentrations of nitrates of iron and ammonium total respectively 55mg / l, 1.85mg / l and 0.65mg / l values that are beyond the limit of the national standard. These abnormal concentrations of chemical elements could have origins linked to human activities. Bacteriological analysis detects fecal coliforms, *Escherichia coli*, fecal enterococci and total aerobic flora in 35% of the structures sampled and analyzed. Finally, the piezometric measurements show an overall low piezometric level in the city and highlight two piezometric domes in the center of the city which orient the direction of groundwater flow in all directions, converging towards the outskirts of the city

Keywords: Physico-chemical analysis, Bacteriological analysis, Piezometric measurements, Mao, Chad

¹ Corresponding author: epolyste@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'eau donne la vie et assure la pérennité de toutes les espèces vivantes. Pour l'homme, elle permet son alimentation, assure son hygiène, entretient sa santé et participe à son confort, voire ses loisirs. Mais lors de sa circulation incessante terrestre ou atmosphérique, l'eau dissout ou emporte tout ce qu'elle rencontre, diffuse les pollutions rencontrées, propage les maladies [1]. « L'eau c'est la vie, mais c'est aussi la mort ». La population mondiale a triplé au cours du 20^{ème} siècle, ses besoins en eau ont sextuplé. Malheureusement, 1/6 de cette population mondiale n'aurait pas accès à l'eau potable et que 1/3 manque d'installations sanitaires [2]. Les conséquences de cette situation sont l'état de morbidité des personnes vulnérables et la prolifération des maladies hydriques. [3] estime que 7 millions de personnes meurent chaque année de maladies transmises par l'eau. En Afrique Subsaharienne, l'eau douce est une denrée qui devient de plus en plus rare, [4]. Cette denrée qui ne représente que 2.5% du volume total de l'eau de la planète (97.5% pour l'eau salée) [5] subit une forte pression pour la satisfaction des besoins de la population. Cette pression sur les ressources en eau douce va encore augmenter avec la forte croissance démographique, la nécessaire croissance de la production agroalimentaire, le développement industriel et l'amélioration des conditions de vie de la population [6]. Les activités anthropiques, mobilisant des ressources naturelles, génèrent des déchets solides, des rejets liquides et des effluents gazeux. Ainsi, elles provoquent des transferts de polluants vers les milieux naturels de surface ou souterrains et, de ce fait, peuvent compromettre l'équilibre biologique des écosystèmes.

Au Tchad, malgré des efforts marqués d'équipement en points d'eau et en adductions d'eau potable depuis 2003, le pays n'a pas atteint son objectif du millénaire pour le développement (60% de la population ayant accès à l'eau potable en 2015 et se situe très en-deçà de la moyenne de l'Afrique sub-saharienne, selon [7]. Le taux d'accès à une source d'eau améliorée est de 55,7% en 2017. Plus de la moitié des ménages n'ont accès qu'à un service de base. Seulement 25% de la population urbaine bénéficie de branchements domiciliaires mais qui ne répondent pas aux critères d'un service géré en toute sécurité, qu'il s'agisse de la qualité de l'eau fournie ou de la continuité du service. L'urbanisation conjuguée à une absence d'assainissement adéquat conduit par ailleurs à une contamination bactériologique des nappes superficielles utilisées par de nombreux puits et forages privés. Mao, une des anciennes villes du Tchad ne déroge pas de cette situation. Elle a bénéficié de la réalisation d'un système d'alimentation en eau potable en 1970. Ce système devenu vétuste desserve difficilement le centre de la ville. Le niveau actuel de l'urbanisation de la ville a doublé, voire quadruplé, obligeant ainsi les populations à faire recours aux pompes à motricité humaine pour leur approvisionnement. Malheureusement ces ouvrages financés par des privés ne respectent pas souvent les directives du Ministère en charge de l'eau en matière de choix de site d'implantation et de profondeur d'ouvrage. L'objectif de cette étude est d'identifier les sources possibles d'approvisionnement en eau de la ville et de faire des investigations sur la qualité de cette eau de consommation.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le matériel dans l'encadré 1 est celui ayant servi à l'étude.



Encadré N°1 : le matériel d'étude

- A. Global position system (GPS) relève les coordonnées géographiques des points
- B. Spectrophotomètre DR800.
- C. Un multimètre de terrain WTW, pour des mesures in situ des paramètres physiques et prélèvements.
- D. Mesure des niveaux piézométriques à l'aide d'une sonde piézométrique de 100m

Localisation

La ville de Mao, zone d'étude est située dans la province du Kanem notamment entre les 14,09° et 14,15° Nord et les 15,29° et 15,33° Est (Figure 1, c). Elle appartient au bassin du Lac Tchad.

Figure N°1 : Carte de localisation de la zone d'étude : a) carte du Tchad, b) carte de la province du Kanem, c) carte la zone d'étude (Source : IGN, 1976).

METHODES

Trois méthodes ont été retenues : l'analyse physico-chimique, bactériologique et les mesures piézométriques.

Mesures piézométriques :

La piézométrie désigne l'ensemble de mesures des niveaux piézométriques : niveau statique, niveau dynamique des ouvrages hydrauliques (forages, puits). Dans le cadre de cette étude, nous avons dénombré vingt (20) points d'eau dont les coordonnées géographiques ont été levées et ceux-ci sont positionnés sur la figure N° 2. Aussi, le nom du quartier où est installé l'ouvrage lui a été affecté. Toutefois ce sont onze (11) points d'eau sur les vingt qui ont été choisis pour la campagne piézométrique au regard du rapprochement entre ceux-ci. Le procédé a utilisé une sonde piézométrique lumineuse pour effectuer les différentes mesures. L'extrémité métallique de la sonde est introduite dans l'ouvrage. Au contact de la surface de l'eau, elle émet une lumière. La lecture est effectuée sur la graduation du ruban de la sonde. A cette valeur lue, on soustrait la valeur de la margelle mesurée à l'aide du ruban gradué. Cela est mathématiquement représenté comme suit :

$N_s = N_m - M$, avec N_s le niveau statique, N_m le niveau d'eau mesuré et M la margelle.

Le niveau piézométrique est obtenu en effectuant la différence entre l'altitude du point par rapport au niveau de la mer, obtenue par GPS et le niveau statique de l'eau dans l'ouvrage.

Le Niveau piézométrique est obtenu selon la formule :

$$N_p = Z(m) - N_s(m).$$

Z : Altitude de la surface topographique en mètre (m).

Np : Niveau piézométrique en mètre (m) ;

Ns: Niveau statique en mètre

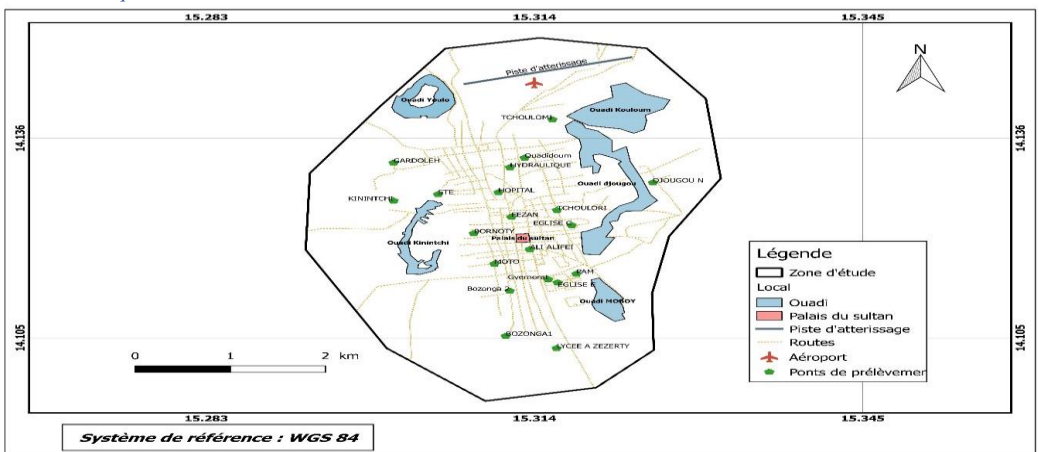


Figure N° 2 : Carte des points de prélèvements des eaux souterraines

Analyse au Laboratoire

Analyse des paramètres physico-chimiques

Vingts (20) échantillons d'eau ont été prélevés à raison d'un échantillon par ouvrage. La répartition spatiale des points d'échantillonnage est représentée dans la figure N° 2. Certains paramètres tels que le potentiel d'hydrogène (pH), la Température, la conductivité électrique ont été mesurés in situ. Les échantillons prélevés ont été conservés dans une glacière et acheminés le même jour du prélèvement au Laboratoire Nationale des Eaux (LNE), branche de Mao pour analyse. Les paramètres chimiques analysés sont d'une part, les ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et HCO_3^- dosés suivant la méthode volumétrique et d'autre part, les ions Na^+ et K^+ qui sont déterminés par la méthode spectrométrique utilisant le spectrophotomètre à flamme. Enfin les éléments tels que le Fer total, les ions SO_4^{2-} , NH_4^+ et NO_3^- sont déterminés par le spectrophotomètre DR2800. L'analyse de ces paramètres vise à déterminer la concentration de ces éléments dans l'eau de consommation puis à se prononcer sur le risque d'une contamination chimique et finalement à montrer leur origine.

Analyse des paramètres microbiologiques

L'analyse bactériologique a été effectuée en novembre 2020. Au total vingt (20) échantillons ont été prélevés et analysés au laboratoire Nationales des eaux (LNE), branche de Mao. L'analyse a porté sur les germes indicateurs de la pollution tels que : les Coliformes totaux, les Entérocoques fécaux, les *Escherichia coli* et les flores aérobies totales. Le procédé d'analyse a été basé sur l'ensemencement sur des milieux des cultures, chromocult (gélose) pour les coliformes totaux, fécaux et *Escherichia coli* et le milieu P pour les flores aérobies totales. Les échantillons ont été préalablement filtrés sur une membrane avant leur ensemencement sur les milieux de culture respectifs. La durée d'incubation varie de 24 à 48 heures, à une température de 37°C pour les coliformes totaux et de 44°C pour les coliformes fécaux. Elle est de 24 heures sous la température de 37°C pour les flores aérobies totales.

Analyse des données

L'analyse des données et l'établissement des cartes ont été possibles au moyen des logiciels de traitement multicritères : Arc-Gis, QGIS, Surfer et xstat.

RESULTATS ET DISCUSSIONS :

Résultats de la Piézométrie

Les résultats de la campagne piézométrique sont présentés dans le Tableau N°1.

Tableau N° 1 – Résultats des paramètres hydrodynamiques des ouvrages hydrauliques

Point d'eau	X	Y	Z(m)	Ns(m)	NP(m)
Ouadidoum	15,31308	14,133	344	49,6	294,4
Bozonga 2	15,31167	14,1123	339	41,7	297,3
Tchoulori	15,32562	14,1289	323	29	294
Ali Alifei	15,31358	14,1188	352	47,2	304,8
Ouadi djougou	15,32429	14,1266	317	7,2	309,8
Gardoleh	15,30069	14,1322	331	42	289
Bornoty	15,30828	14,1212	353	36,8	316,2
Fezanais	15,31183	14,1238	358	56,4	301,6
Djougou Nord	15,32519	14,1291	320	29	291
Mao-Youlo1	15,5161	14,1212	330	49	281
Moto	15,31022	14,1165	345	44,6	300,4

X : Longitude ; Y : Latitude ; NS : Niveau Statique ; NP : Niveau piézométrique ;

L'analyse du tableau N° 1 montre que les niveaux statiques des ouvrages oscillent entre 7.2 et 56.4 m avec une moyenne de 39.3m et que le niveau piézométrique oscille entre 281m à Mao-Youlo1 contre 316.2 m à Bornoty ; ce qui donne une faible piézométrie sur l'ensemble de la ville. La faible piézométrie est évoquée par [8] ; [9] ; [10] comme facteur de diffusion des produits chimiques dans les aquifères. Par ailleurs, les levés piézométriques complétés des observations des terrains ont permis l'établissement de la carte piézométrique de la ville de Mao présentée sur la figure N° 3.

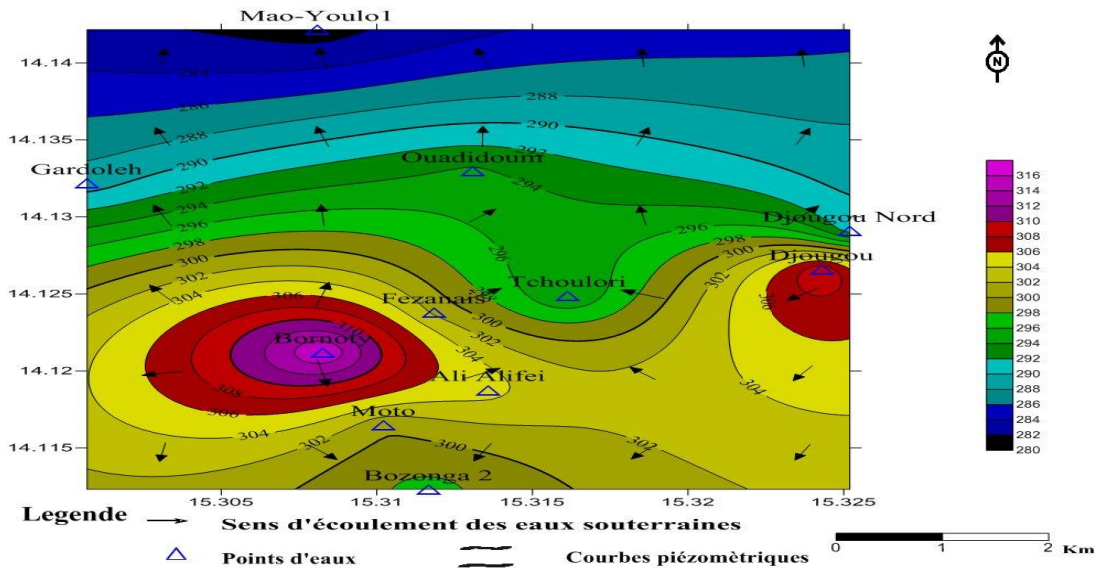


Figure 3- Carte piézométrique de la ville de Mao

L'analyse de la carte piézométrique montre que les côtes piézométriques présentent un espacement régressif des courbes isopièzes du centre vers la périphérie de la ville de Mao ; ce qui met en évidence la présence des dômes piézométriques à Bornoty (isopièze 314 m) et à Djeugou (isopièze 308 m) au centre et des dépressions en périphérie entourant la ville. Cette configuration fait que le sens d'écoulement des eaux souterraines est orienté dans toutes les directions convergent vers ces dépressions en périphérie de la ville. Ce constat est en lien avec la réalité du terrain, caractérisé par la présence des ouadis ou dépressions qui entourent la ville et dans lesquelles se pratiquent des activités maraîchères.

Résultats de l'analyse physico-chimique des eaux

L'analyse physico-chimique a porté sur un échantillon de vingt (20) ouvrages choisis sur la base de la densité de la fréquentation de ces ouvrages par les populations pour leur approvisionnement en eau. Ces ouvrages sont répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. Les résultats de ces analyses sont présentés dans le tableau N°2.

Tableau N° 2- Résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la ville de Mao

Nom de forage	Na+	Ca2+	k+	Mg2+	NH4+	Fe	CaCo3	HCO3-	SO42-	NO3-	Cl-	CE(µS/cm)	PH	T°C
BOZONGA1	26	8,8	2,5	6,8	0	0,1	50	70,76	16	23,8	10	174,8	6,2	27
PAM	11,5	1,6	1,5	1,46	0	0	10	26,84	7,5	0	5	77,65	8,5	28
HYDRAULIQUE	10	6	2	4,2	0	0	64	17,7	6	4,1	25	165,8	8,3	26
LYCEE A ZERTY	32,5	7,2	5,5	2,92	0	0,1	30	61	25	9	16	196,6	8,2	25
EGUSE EVAN	33,2	8	5	0,49	0	0,23	22	34,16	20,2	16,5	26	243,8	7,5	25
GOUVERNORAT	39,8	7,2	4,5	0,49	0	0,11	20	36,6	15	9	42	205,6	7,2	29
ECOLE N INSTITUTEUR	25,5	4	2,5	1,94	0	0,3	18	17,08	24,5	12,9	19	144,2	7	25
STE	42	6,4	3,5	0,97	0	0,3	20	26,84	29,5	15,2	35	249,3	6,9	25
HOPITAL	37,1	7,2	5,5	3,9	0	0,12	30	14,64	39,5	19,5	37	241,7	6,4	25
MARCHE DE BETAIL	13,2	8	2,2	4,37	0	0	38	53,68	3	0	16	166,3	6,25	26
OUADIDOU	6,9	1,6	1,5	4,4	0,1	0,1	22	19,5	15	2,7	15	173	6,9	27
BOZONGA 2	0,3	1,4	1,2	4,5	0,2	0,2	22	19,5	0	2	5	147	6,27	28
TCHOULORI	6	8	10	2,4	0,02	0,02	30	16,45	10	8,9	20	348	6,12	28
AU ALIFEI	4,5	6,4	20	1,5	0,25	0,25	22	23,9	11	2,3	15	308	6,26	28
GARSOLEH	0,7	8	1,9	2,9	0,12	0,12	32	24,4	1	6	7	98	6,28	29
BORNOTY	0,7	20	4,5	3,4	0,25	0,25	64	61	4	3	11	133	6,27	29
FEZANAIS	1,3	5,6	3,6	4,4	1,85	1,85	32	24,4	12	0	6	264	6,3	28
MOTO	0,3	18,4	6	3,4	0,01	0,01	60	19,5	18	0,2	27	427	7,6	28
DJOUGOU NORD	6	2,4	26	4,2	0,42	0,42	6	17,1	31	1,5	15	501	7	28
EGUSE CATH	30	8,1	2	2,3	3,9	0,65	34	28	7	55,9	12	210	7,2	27
Norme OMS/Tchad	≤200	≤100	≤50	≤12	≤1,15	≤0,3	RAS	RAS	≤0,3	≤50	≤250	2500µS/cm	6,5-8,5	

L'analyse des paramètres physiques des eaux échantillonnées montre que les températures du secteur d'étude varient entre 25°C à 29°C avec une moyenne arithmétique de 27,30°C. Elles varient de manière cohérente avec les températures moyennes mensuelles de l'air mesurées à la station de Mao (31 à 41°C). Les valeurs du pH mesurées sont hétérogènes sur l'ensemble des eaux échantillonnées. Toutefois elles sont conformes aux normes nationales des eaux de consommation. Elles varient entre 6,2 et 8,5 avec une moyenne de 6,9 proche de la neutralité. Les valeurs des conductivités électriques sont hétérogènes sur l'ensemble de la zone d'étude. Les faibles valeurs sont mesurées au forage PAM (77.63 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La conductivité la plus élevée (427 $\mu\text{S}/\text{cm}$) est mesurée à Moto. Cette valeur peut s'expliquer par la forte minéralisation de l'eau et l'évaporation au regard des fortes températures enregistrées dans la zone. L'analyse des éléments chimiques présente globalement des concentrations normales au regard de la norme nationale. Toutefois, on note les teneurs anormales en fer total dans les forages Fezanais, Djougou nord et Eglise catholique respectivement de 1.8 ; 0.42 et 0.65mg/l contre la valeur seuil de la norme nationale de 0.3mg/l. Les sources les plus fréquentes de fer dans l'eau souterraine sont naturelles : il peut s'agir par exemple de l'altération météorique des minéraux et des roches qui en contiennent, comme les amphiboles, les micas ferromagnésiennes, les sulfures de fer, les magnétites, les oxydes, les carbonates, ainsi que les minéraux d'argile ferrugineuse. Le fer est souvent présent à l'état naturel dans les puits ou forages profonds ou l'eau souterraine possédant peu, voire pas du tout d'oxygène, ainsi que dans les régions où l'eau coule à travers des sols riches en matières organiques. Les sources artificielles du fer dans l'eau sont les cuvelages des puits, canalisations, pompes, réservoirs, et autres objets faits en fonte ou en acier pouvant être en contact avec de l'eau. Les effluents industriels, les eaux d'exhaure acide, les eaux usées ainsi que les lixiviats provenant des sites d'enfouissement des déchets peuvent également contribuer à la présence de fer dans les nappes phréatiques. A des concentrations supérieures aux recommandations pour l'eau potable, le fer peut modifier le goût, l'odeur ou la couleur de l'eau de puits. Selon les recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, le fer correspond à un objectif esthétique (OB) inférieure ou égal à 0,3 milligramme par litre.

La teneur en ammonium observée dans les forages Fezanais et de l'église catholique dont les valeurs respectives de 1.85 et 3.9mg/l, sont supérieures à la valeur de la norme nationale. L'ion ammonium NH_4^+ , est la forme réduite de l'azote. Il provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenues dans le phytoplancton et les micro-organismes. Il peut être aussi issu de l'apport d'effluents urbains épurés, de rejets industriels ou agricoles. Il se trouve dans les eaux naturelles à des concentrations qui peuvent varier de 0,1 à plus de 10 mg/l. Selon [11], l'ion ammonium ne présente pas un caractère nocif pour la santé, mais sa présence, en particulier dans les eaux de surface, peut être considérée comme un indicateur de pollution. Cependant, il constitue un élément gênant, car il interfère avec la chloration pour former des chloramines modifiant l'odeur et le goût de l'eau (goût de chlore).

Il est par ailleurs un aliment pour certaines bactéries qui peuvent ainsi proliférer dans les réseaux de distribution. Il convient donc de l'éliminer de l'eau destinée à la consommation humaine.

Enfin, on note une teneur anormale en nitrate qui s'élève à 55,9mg/ml à l'église catholique contre un seuil de 50mg/l. A ce sujet [12] rapportent que les nitrates des eaux souterraines proviennent du lessivage par l'eau de pluie des nitrates produits naturellement dans le sol superficiel, ou apportés sous forme d'engrais et que la concentration naturelle en nitrates dans les eaux souterraines est inférieure à 10 mg/L. Une étude écologique Canadienne [13] a trouvé une association du risque de cancer du cerveau avec l'exposition aux nitrates dans l'eau potable pour des concentrations supérieures à la limite réglementaire. Aussi, des études écologiques récentes en Slovaquie, en Espagne et en Hongrie, utilisant des mesures historiques de concentrations de nitrates avec des niveaux d'exposition proches ou au-dessus du niveau réglementaire maximum de contamination, ont montré une corrélation positive avec la fréquence ou le taux de mortalité du cancer gastrique [14] ; [15]; [16].

En définitive, on constate que statistiquement 25% des points d'eau présente des teneurs anormales en fer total, en ammonium et en nitrate. Pour des raisons de fiabilité des résultats d'analyses, une balance ionique basée sur l'électro-neutralité de l'eau est donnée automatiquement par le logiciel Diagramme pour chaque échantillon d'eau analysé. En effet, une analyse chimique est considérée comme valide lorsque la balance ionique ne dépasse $\pm 5\%$. Les balances ioniques ont été vérifiées pour l'ensemble des échantillons analysés conformément à la figure N°4.

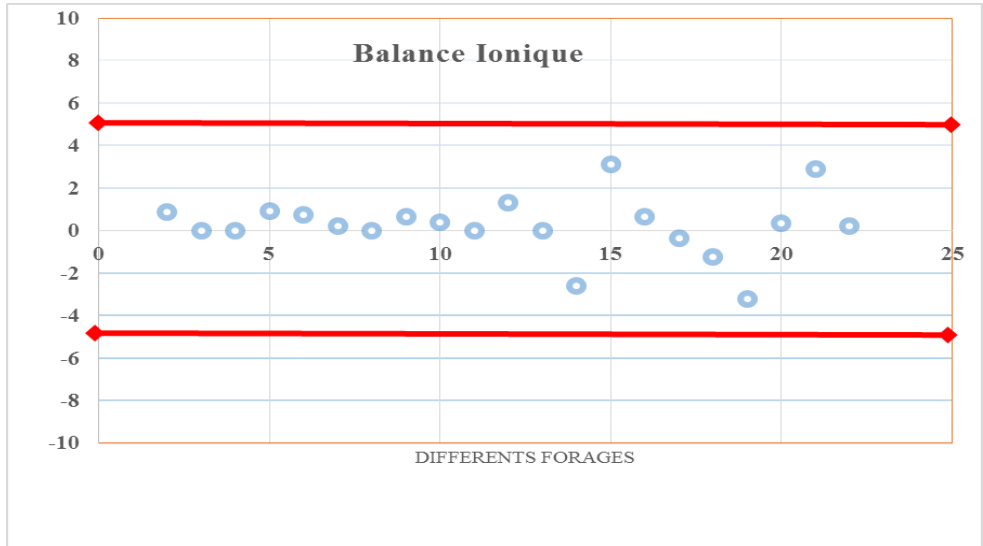


Figure N°4 : Balance ionique des eaux souterraines des forages

On constate que les valeurs de la balance ionique des échantillons analysés oscillent entre 3,13 à -3,19 % ; ce qui démontre la fiabilité des résultats de l'analyse des paramètres chimiques de l'eau de consommation de la ville de Mao. Afin de déterminer l'origine de la contamination au fer, à l'ammonium et au nitrate, une corrélation entre le nitrate et les autres éléments chimiques est réalisée pour observer leur affinité. Cette corrélation s'appuie sur une matrice de corrélation qui permet d'établir les relations entre les variables chimiques et de ressortir celles qui présentent un comportement similaire, en vue d'avoir une idée sur le chimisme des eaux souterraines. En clair, l'analyse de la matrice de corrélation permet de retenir les éléments corrélés deux à deux pour voir les éléments qui ont une origine commune. En l'espèce, la corrélation est faite entre le nitrate et le fer qui est un paramètre indésirable et entre le nitrate et l'ammonium qui est un paramètre polluant. Les coefficients de corrélation sont compris dans l'intervalle -1,00 à +1,00. La valeur -1,00 représente une parfaite corrélation négative tandis que la valeur +1,00 représente une parfaite corrélation positive. La valeur 0,00 représente une absence de corrélation (ou l'indépendance entre les variables). Le tableau N°4 présente la matrice de corrélation.

Tableau N°3- Matrice de corrélation

Variables	pH	c25°C	Na	Ca	K	Mg	NH4	HCO3	SO4	NO3	Cl
T°C											
pH	1,000										
c25°C	0,193	1,000									
Na	0,366	-0,118	1,000								
Ca	0,065	0,144	-0,109	1,000							
K	-0,023	0,688	-0,261	-0,189	1,000						
Mg	0,135	-0,009	-0,393	0,011	-0,002	1,000					
Fe	-0,338	0,114	-0,352	-0,069	0,387	-0,029					
NH4	-0,107	0,282	0,018	-0,072	0,155	0,010	1,000				
HCO3	-0,075	-0,328	0,217	0,402	-0,272	0,220	-0,152	1,000			
SO4	0,378	0,463	0,585	-0,107	0,326	-0,129	-0,040	-0,153	1,000		
NO3	0,119	-0,081	0,585	0,049	-0,253	-0,117	0,622	0,102	0,152	1,000	
Cl	0,591	0,288	0,640	0,171	0,014	-0,394	-0,245	-0,178	0,579	0,121	1,000

Corrélation entre le nitrate et le fer

La corrélation entre le nitrate et le fer est représentée dans la figure N°5. L'analyse de cette figure montre une dispersion irrégulière des points autour de la droite d'ajustement. De plus, avec un coefficient de corrélation de $R=0.022$, on constate qu'il n'y a pas de corrélation significative entre le nitrate et le fer.

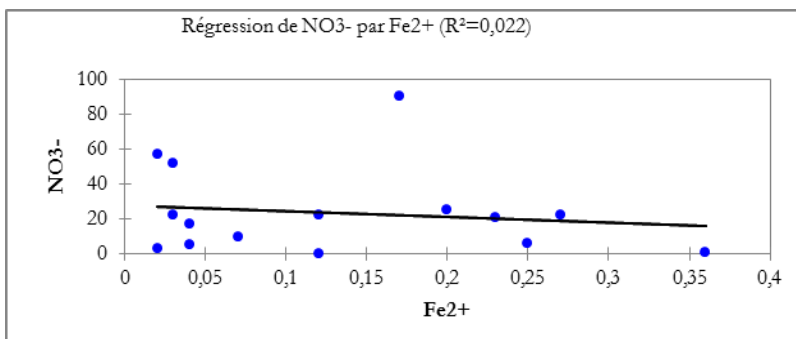


Figure N°5 : Corrélation entre le nitrate et le fer

Corrélation entre le nitrate et l'ion ammonium

Comme avec le fer, le nitrate ne montre pas de corrélation significative avec l'ammonium. La faible valeur du coefficient de corrélation ($R=0.353$) et la dispersion irrégulière des points autour de la droite d'ajustement laissent entrevoir un comportement hydrochimique différent.

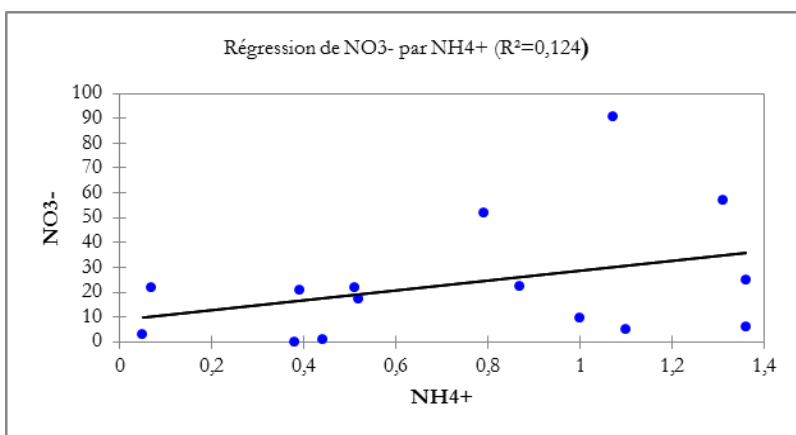


Figure 6: Corrélation entre le nitrate et l'ammonium

En définitive, l'un dans l'autre, on note qu'il n'y a pas de corrélation significative entre les différents éléments chimiques. L'hypothèse d'une hydrolyse chimique qui libère des bases échangeables susceptibles d'expliquer la concentration anormale du nitrate et d'ammonium dans l'eau ne se justifie pas. Par contre, l'origine de leur teneur élevée observée par endroit dans la zone d'étude, notamment au forage fezanais et à l'église catholique, pourrait s'expliquer par des activités humaines autour de ces forages, notamment la lessive et le dépôt sauvage des ordures ménagères. Ce résultat corrobore ceux de [17] ; [18] ; [19] qui ont rapporté que la présence de nitrates, en concentration élevée, dans des aquifères sous climat aride, est due à une pollution anthropique. La faible piézométrie peut aussi être indexée comme un facteur de diffusion des polluants dans les aquifères. A ce sujet, [20] ; [21] ; [22] ; [23] ont trouvé que les aquifères peu profonds ou non confinés peuvent être contaminés par des rejets ou des suintements dus à des pratiques agricoles et autres présentes sur le site.

Résultats des analyses bactériologiques

Les résultats de l'analyse des paramètres bactériologiques sont consignés dans le tableau N°4.

Tableau N°4 : Résultat des analyses bactériologiques

Paramètres microbiologiques Unité	Echerichia coli UFC/100ml	Coliformes totaux UFC/100ml	Enterocoques fécaux UFC/100ml	Flore aérobies totales UFC/100ml
BOZONGAI	28	55	>100	>100
PAM	0	0	0	0
HYDRAULIQUE	38	>100	>100	70
LYCEE A ZEZERTY	2	66	>100	>100
EGLISE EVAN	0	0	0	0
GOVERNORAT	0	77	>100	80
ECOLE N INSTITUTEUR	0	>100	>100	>100
STE	31	15	>100	>100
HOPITAL	10	33	>100	25
MARCHE DE BETAÏL	0	0	0	0
OUADIDOU	0	0	0	0
BOZONGA 2	0	0	0	0
TCHOULORI	0	0	0	0
ALI ALIFEI	0	0	0	0
GARSOLEH	0	0	0	0
BORNOTY	0	0	0	0
FEZANAIS	0	0	0	0
MOTO	0	0	0	0
DJOUGOU NORD	0	0	0	0
EGLISE CATH	0	0	0	0
Norme OMS/Tchad UFC/100ml	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml

Les résultats des analyses bactériologiques montrent que :

Cinq (5) forages sur 20 détectent la présence d'*Escherichia coli* dans des concentrations allant de 2 à 28 UFC/ml contre la norme nationale qui requiert 0 UFC. La présence d'*E. coli* dans l'eau indique une contamination récente par des matières fécales, et peut indiquer la présence possible des germes pathogènes responsables de maladies, comme des bactéries, des virus et des parasites [24]. Ce résultat est similaire à ceux obtenus par [25] dans la ville de Bol au lac-Tchad.

Les coliformes totaux sont détectables dans sept (7) points d'eau prélevés et analysés sur les vingt, dans des proportions allant de 15 à 100UFC/ml contre un seuil normal de 0 UFC/ml. Comme l'*Escherichia Coli*, les coliformes totaux servent d'indicateurs pour mesurer le degré de pollution et la qualité de l'eau de puits et forage. La présence d'*E. Coli* et des coliformes totaux dans l'eau potable signifie que celle-ci a été contaminée par des matières fécales pouvant contenir des micro-organismes pathogènes, comme des bactéries, des virus ou des parasites. Les conséquences d'une exposition à ces microorganismes pathogènes présents dans l'eau peuvent varier. Les symptômes les plus courants sont la nausée, les vomissements et la diarrhée. Les enfants en bas âge, les personnes âgées, ainsi que les personnes dont le système immunitaire est affaibli, peuvent avoir des symptômes plus graves. Dans les cas extrêmes, certains pathogènes peuvent infecter les poumons, la peau, les yeux, le système nerveux, les reins, ou encore le foie, et les effets peuvent être plus graves, chroniques, voire mortels. Ce résultat est en lien avec les pathologies récurrentes enregistrées à l'hôpital provincial de la ville de Mao. Il est similaire à celui de [26] dans quatre communes défavorisées d'Abidjan. Il peut s'expliquer par l'absence d'un service d'assainissement adéquat souvent caractérisé des fosses septiques et rejets d'eau usée dans la nature sans traitement préalable, le lessivage de déjections animales, les eaux de ruissellement. Pendant et après des précipitations, des bactéries et d'autres micro-organismes dangereux peuvent pénétrer dans les ouvrages d'eau mal construits ou mal entretenus et accroître les risques de contamination.

Les Entérocoques fécaux et les Flores aérobies totales sont présents dans 7 forages (Bozonga1, Hydraulique, Lycée Alifa Zertzty, Hôpital de Mao, STE Gouvernorat, Ecole Normale d'Instituteur). Ces germes sont des indicateurs de la pollution ancienne. Leur présence dans l'eau indique que la contamination est due aux micro-organismes entéropathogènes qui sont les

salmonelles responsables de la maladie de fièvre typhoïde. Les flores aérobies sont des germes globaux qui poussent en présence d'oxygène à une température comprise entre 25 et 30°C. La présence de ces bactéries serait due à l'infiltration de l'eau chargée de la matière organique pour atteindre la nappe. De plus il ressort du constat du terrain que certains forages réalisés dans la ville de Mao ne respectent pas la distanciation de minimum de 10 mètres avec les latrines. Tout cela aurait contribué à cette situation alarmante.

En définitive, la potabilité de l'eau de consommation de la ville de Mao est un défi à l'autorité communale. Elle est caractérisée par :

- Des paramètres physiques (température, potentiel d'hydrogène et la conductivité électrique) qui respectent la norme nationale d'eau de consommation ;
- Des paramètres chimiques qui globalement sont acceptables sauf cinq forages qui présentent des concentrations anormales en fer total, en ammonium et en nitrate. Ces forages imposent un suivi d'exploitation voire un dispositif de traitement par filtration et aération avant toute consommation pour éviter des effets nocifs à long terme
- Des paramètres microbiologiques accablant pour 7 forages, ce qui représente 35% des points d'eau recensés et analysés. Dans ces ouvrages, on détecte la présence des germes d'*Escherichia coli*, des coliformes fécaux, des entérocoques fécaux et flores aérobies totales dans des concentrations variables. Or la directive nationale en matière de l'eau de consommation impose que la concentration maximale acceptable dans l'eau potable soit égale à aucun micro-organisme détectable par volume de 100ml. Cela signifie donc que pour se conformer à la directive en vigueur, la présence de coliformes totaux ou d'*Escherichia coli*, des entérocoques fécaux ou flores aérobies totales ne doit pas être détectée dans un volume de 100 ml d'eau potable.

CONCLUSION

L'objectif assigné à cette étude était de faire le point sur l'état de potabilité de l'eau de consommation distribuée dans la ville de Mao, province du Kanem au Tchad. Les résultats auxquels nous sommes parvenus montrent une contamination des eaux de consommation par des bactéries coliformes, entérocoques et flores aérobies totales détectée dans 35% des ouvrages prélevés et analysés dans la ville de Mao. 25% d'ouvrages présentent des concentrations anormales en nitrate, fer total et ammonium. Une corrélation deux à deux de ces éléments chimiques ne montre aucun résultat significatif. Cela présage qu'ils proviennent probablement des activités humaines locales.

L'étude hydrodynamique a permis de déterminer le sens d'écoulement des eaux et de mettre en évidence deux dômes piézométriques au centre et des dépressions piézométriques aux alentours de la ville de Mao. Elle montre en général une faible piézométrie sur l'ensemble de la zone d'étude. L'étude de la corrélation entre le taux de mortalité ou de morbidité de la population de la ville de Mao et la concentration anormale des éléments chimiques ou bactériologiques constitue un résultat non atteint de l'étude. Notre souhait est de voir les prochaines études s'appesantir sur cet aspect. [25] Njitchoua et al. (1996) ont montré que naturellement, les eaux souterraines renferment de nitrate, de fer. Ceux-ci proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales telles que légumineuses par des cyanobactéries ou de la dégradation la roche mer. Mais lorsque les concentrations dépassent les normes d'un pays, les investigations scientifiques sont les voies qui permettent de faire l'état des lieux et fournir des outils d'aide à la décision. Il est en définitive nécessaire d'informer, d'éduquer et de communiquer avec les décideurs locaux de la nécessité d'un service continu et sanitaire de la distribution d'eau potable à la population dans la ville de Mao, province du Kanem au Tchad.

REMERCIEMENTS

Mes vives reconnaissances et remerciements s'adressent à la coopération SUISSE au Tchad pour son soutien apporté au cours de la réalisation de cette étude. Nous remercions également le personnel du Laboratoire Nationale des Eaux section provinciale de Mao et le Délégué de l'hydraulique urbaine et rurale pour leurs collaborations.

Références

- [1] Karambiri H, García Galiano S, Giraldo J, Yacouba H, Ibrahim B, Barbier B and Polcher J (2011). Assessing the impact of climate variability and climate change on runoff in West Africa : the case of Senegal and Nakambe River basins, *Atmospheric Science Letters* 12(1), 109–115.
- [2] (who, 2008). chemical hazards in drinking-water, water sanitation and health, drinking water quality.
- [3] OMS, (2010) , Rapport sur l'amélioration de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement dans le monde : coûts et avantages. 189p
- [4] PAQUEROT S., 2005. Eau douce-la nécessaire refondation du droit international, presse de l'université de Québec (ISBN : 2-7605-1323-8).
- [5] OMM AND UNESCO 1997. Y aura-t-il de l'eau sur la terre, OMM Nr857. ONU (1992). Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, *New York : Nations Unies*.
- [6] Baron C., 2009. L'eau en Afrique : disponibilité et accès. *Revue Futuribles* N°359.
- [7] JMP, (2015) le programme conjoint de suivi de l'OMS et de l'UNICEF.
- [8] Dieng Y., Tandia A., Wane. A.T., Gaye O., DIOP E. S. ; DIALLO S. (1999). Les parasitoses intestinales chez les habitants d'une zone périurbaine a nappe phréatique polluée par les nitrates d'origine fécale (Yeumbeul, Sénégal). *Cahiers santé*; 9: 351-356.
- [9] Rouabhia A., Baali. F., Kherici N., DJarbi L. (2004). Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie). *Sécheresse* ; 15 : 347-52.

- [10] Degbey C., Makoutodé M., Agueh V., Dramaix M. ; Debrouwer C. (2011). Facteurs associés à la qualité de l'eau de puits et prévalence des maladies hydriques dans la commune d'Abomey Calavi (Bénin). Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé, 21 : 47-55.
- [11] Memotec n°11: L'élimination de l'ammonium dans l'eau potable, REVISION A DATE : 01/01/2006
- [12] Cocco, P., G. Broccia, et al. (2003) Nitrate in community water supplies and incidence of non-Hodgkin's lymphoma in Sardinia, Italy. J Epidemiol Community Health. 57(7): 510-1.
- [13] Thouez J-P, Beauchamp Y, Simard A. (1981) Cancer and the physicochemical quality of drinking water in Quebec. Soc Sci Med. ; 15D:213-223.
- [14] Gulis, G., M. Czompolyova, et al. (2002) An ecologic study of nitrate in municipal drinking water and cancer incidence in Trnava District, Slovakia. Environ Res. 88(3): 182-7.
- [15] Morales Suarez-Varela, M., Llopis Gonzalez, A., Tejerizo Perez, M. L. & Ferrandiz Ferragud, J. (1993). Concentration of nitrates in drinking water and its relationship with bladder cancer. J Environ Pathol Toxicol Oncol 12, 229-36.
- [16] Sandor, J., Kiss, I. & Ember, I. (1998) Threshold for gastric cancer causing effect of nitrate in drinking water. Anticancer Res. 18, 4940.
- [17] Girard, P. AND Hillaire-Marcel, C., 1996. Determining the source of nitrate pollution in Niger discontinuous aquifers using the natural 15N/14N ratios. Journal of Hydrology, 199,3-4, pp.239-251.
- [18] Walvoord, M.A., Philips, F.M., Stonestrom, D.A., Evans, R.D., Hartsough, P.C., Newman, B.D., et Striegl, R.C., 2003. A reservoir of nitrate beneath desert soils. Science 302, pp.1021-1024
- [19] Stadler, et al. 2008, Understanding the origin and fate of nitrate in groundwater of semi-arid environments. Journal of Environment, 72 : 1830-1842
- [20] Mehdaoui O., Venanta A., Fekhaoui M. (2000). Contamination par les pesticides organochlorés et les nitrates de la lagune de Moulay Bouselham, Maroc. Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé ; 10 : 381-12
- [21] Sebei A., Chaabani F., Souissi F., Saadi A. (2004). Hydrologie et qualité des eaux de la nappe de Grombalia (Tunisie nord-orientale). Sécheresse ; 15 : 159-66.
- [22] Arumi J.L., Núñez J., Salgado L., Claret M. (2006). Evaluación del riesgo de contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable rural en Chile. Rev Panam Salud Publica, 20 : 385-392. doi: 10.1590/S1020-49892006001100004.
- [23] Mouni L., Merabet D., Arkoub H., Moussaceb K. (2009). Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'Oued Soummam (Algérie). Sécheresse ; 20 : 360-6. doi : 10.1684/sec.2009.0209
- [24] Scott t.m, rose j.b, jenkins t.m, farrah s.r, lukasik j. (2002). microbial source tracking : current methodology and future directions. applied and environmental microbiology, vol.6, p. 5796-803.
- [25] MOGOBAYE.P, (2018), mémoire de master, Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau de consommation de la ville de Bol et ses environs, Université de Ndjaména, 55P
- [26] Yapo.O, MAMBO.V, SEKA. OHOU.M, (2010), Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan en Côte d'Ivoire, Int.J.Biol.Chem.Sci., 4(2) 289-307
- [27] Njitchoua R., Dever L., Fontes J.C. And Naah E., 1996. Geochemistry, origin and recharge mechanisms of groundwaters from the Garoua Sandstone aquifer, northern Cameroon. Journal of Hydrology, 190: 123-140.

L'eau potable dans l'arrondissement urbain de Kpomasse (sud ouest Bénin) : sources et modes de gestion

Sylvain A. Vissoh¹

¹Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales (LEDUR), Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT) de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin),

Résumé

L'accès des ménages à l'eau potable dans les petites agglomérations urbaines est souvent problématique dans les pays sous-développés. Le présent travail vise à analyser l'accès au service d'eau potable dans l'arrondissement urbain de Kpomassè au sud-ouest du Bénin.

L'approche méthodologique adoptée est axée sur les recherches documentaires, la collecte de données auprès de 112 personnes à travers des entretiens et des questionnaires, le traitement des données collectées et l'analyse des résultats grâce au modèle SWOT ou FFOF (Forces-Faiblesses-Opportunités et Menaces).

Il ressort des investigations que l'arrondissement urbain de Kpomassè dispose de 86 sources d'eau potable dont 27 bornes fontaines, 27 adductions d'eau villageoises (AEV), 13 pompes à motricité humaine, 5 postes d'eau autonomes et 14 puits modernes. Près du quart de ces infrastructures (23,25%) n'est pas fonctionnel. Deux modes sont adoptés pour gérer ces sources d'eau potable : l'affermage et la délégation à des associations d'usagers d'eau. La Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB), supposée alimenter les ménages urbains en eau potable, n'a installé aucun équipement dans l'Arrondissement urbain de Kpomassè. Le service de l'eau potable dans cet arrondissement s'effectue donc à travers des infrastructures identiques à celles des milieux ruraux ; ce qui n'est pas en phase avec la politique de l'Etat dans ce secteur. Les autorités locales doivent conjuguer davantage leurs efforts avec les services déconcentrés de l'Etat pour améliorer le service de l'eau potable dans le centre urbain de Kpomassè.

Mots clés : Arrondissement de Kpomassè, eau potable, affermage, service public de proximité.

Drinking water in the urban district of Kpomasse (south west Benin): sources and management methods

Abstract:

Household access to drinking water in small urban areas is often problematic in underdeveloped countries. This work aims to analyze access to the drinking water service in the urban district of Kpomassè in southwestern Benin.

The methodological approach adopted is based on documentary research, the collection of data from 112 people through interviews and questionnaires, the processing of the data collected and the analysis of the results using the SWOT or SWOT model (Strengths-Weaknesses- Opportunities and Threats).

Investigations show that the urban district of Kpomassè has 86 drinking water sources including 27 standpipes, 27 village water supply systems (VSS), 13 hand pumps, 5 autonomous water stations and 14 modern wells. . Almost a quarter of this infrastructure (23.25%) is not functional. Two methods are adopted to manage these sources of drinking water: leasing and delegation to associations of water users. The National Water Company of Benin (SONEB), supposed to supply urban households with drinking water, has not installed any equipment in the Kpomassè urban district. The drinking water service in this district is therefore carried out through infrastructures identical to those in rural areas; which is not in line with state policy in this sector. The local authorities must combine their efforts more with the decentralized state services to improve the drinking water service in the urban center of Kpomassè.

Key Words: Kpomassè district, drinking water, leasing, local public service.

¹ Corresponding author: vissohahotondji@gmail.com

INTRODUCTION

Dans les pays sous-développés, l'accès à l'eau potable est souvent difficile pour les ménages des petits centres urbains. En effet, les pouvoirs publics concentrent l'essentiel des moyens du secteur aux grandes agglomérations urbaines et quelque peu aux milieux ruraux. Les petits centres urbains sont souvent « survolés » car ils ne sont pas assez grands pour bénéficier des programmes destinés aux villes et ne sont pas non plus des villages pour bénéficier de ceux du monde rural. Or, l'eau potable est indispensable aux ménages quel que soit le milieu dans lequel ils se trouvent. Selon C. S. Lègba (2017, p.10), l'eau potable est au centre des débats pour son rôle essentiel dans la satisfaction des besoins humains élémentaires comme la santé ou l'alimentation. D'après L. Odoulami (2009, p.19), l'eau est la plus vitale des ressources naturelles ; elle rend la vie possible, soutient les écosystèmes et les entreprises de l'homme. Selon C. F. Akpako (2012, p. 17), l'eau est au centre de la vie, sa disponibilité en quantité et en qualité pour la satisfaction des besoins sociaux et économiques est l'un des défis que l'humanité devra relever dans les années à venir. Or il y a un lien direct entre le manque d'accès à l'eau potable et toutes sortes de maladies dont sont victimes les populations pauvres dans le monde, en particulier dans les pays en voie de développement (A. Briand et A. Lemaître, 2004, p. 103).

Dans les faits, seulement 62% de la population africaine a accès à l'eau potable (P. A. Seck, 2004, p. 13). Cette situation est beaucoup plus accentuée dans les zones rurales et périurbaines où la couverture avoisine 47% contre 85% en zones urbaines (OMS, UNICEF, Water Supply and sanitation, 2000, p. 17).

La gestion de l'eau potable reste encore sommaire si non presque inexistante dans la plupart des localités et surtout dans les zones rurales où les sources sont diverses et peu contrôlées (OFEV, 2013, p. 23).

Au Bénin, les populations rencontrent d'énormes difficultés pour accéder à l'eau potable. Dans les villages, plus de 60 % des populations notamment les femmes et les enfants consacrent beaucoup de temps et d'efforts à la recherche d'eau potable. La situation n'est guère reluisante dans les centres urbains où la proportion des ménages ayant accès à l'eau potable tourne autour de 40% (D. S. ALBAH, 2017, p. 21).

L'Arrondissement urbain de Kpomassé n'est pas épargné par cette réalité. En effet, dans cet arrondissement, plus de 50 % des ménages n'ont pas accès à l'eau potable (F. Abathan, 2020, p. 43). Une grande partie des besoins de la population en eau potable reste donc insatisfaite. Le présent travail se propose de déterminer les facteurs qui expliquent cette situation à travers les questionnements ci-après : quelles sont les sources d'eau potable dans l'Arrondissement urbain de Kpomassé ? Comment ces sources sont-elles gérées ? Quel est le taux de desserte en eau potable dans l'arrondissement et que faire pour améliorer ce taux ?

MATERIEL ET METHODES

Cadrage géographique de l'étude : La présente recherche porte sur l'Arrondissement urbain de Kpomassé. Il est le Chef-lieu de la Commune de Kpomassé et est localisé entre 6°22' et 6°29' de latitude nord et entre 2° et 2°7' de longitude est. Cet arrondissement est subdivisé en neuf (09) quartiers de ville que sont Aïdjédo, Cocoundji I, Cocoundji II, Doga, Fifadij, Gbèdjewin, Kpomassé, Houégan II et Missèbo (figure 1).

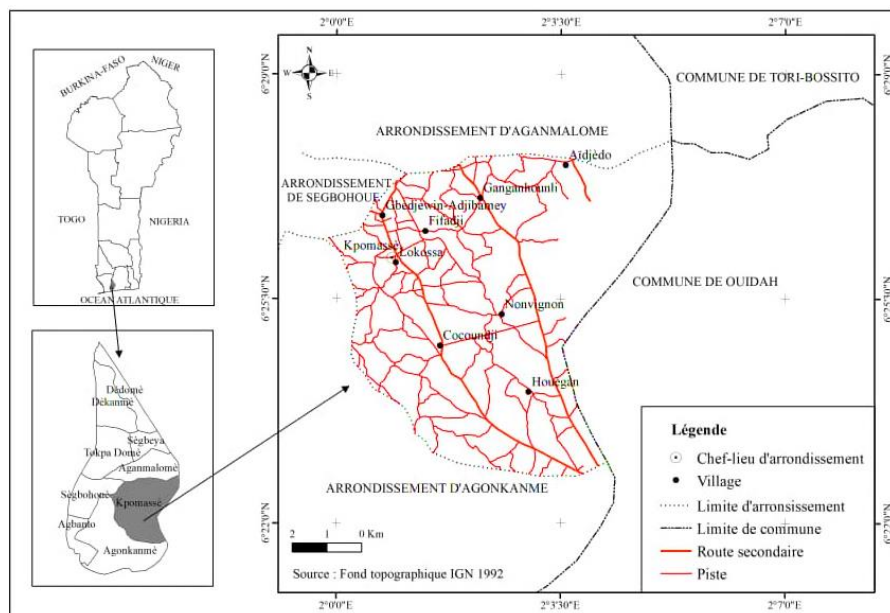


Figure 1: Situation géographique et administrative de l'Arrondissement de Kpomassé.

La figure 1 présente la situation géographique et administrative de l'Arrondissement urbain de Kpomassè. De cette figure, il ressort que cet arrondissement est limité au nord par l'Arrondissement de Aganmalomin, au sud par celui d'Agonkanmè, à l'est par la commune de Ouidah et à l'ouest par l'Arrondissement de Sègbohòu.

Données utilisées : Les données utilisées dans le cadre de ce travail sont à la fois quantitatives et qualitatives. Il s'agit des :

- statistiques démographiques de 1979 à 2013 qui ont permis de connaître l'effectif de population et son évolution,
- données sur les types d'infrastructures hydrauliques installées dans l'arrondissement, leur répartition spatiale et leurs modes de gestion.
- des données relatives à l'accès à l'eau potable dans l'arrondissement

Techniques, outils et matériels de collecte des données : La collecte des données a été effectuée par recherche documentaire, observations directes, entretien et questionnaire. Les observations directes ont porté sur l'état des infrastructures hydrauliques. A cette étape, des photos ont été prises pour servir d'illustrations dans le présent travail. Les entretiens ont lieu auprès des autorités locales (Maire, Chef d'Arrondissement, chefs de quartier) à l'aide d'un guide d'entretien. Les ménages ont été interrogés grâce à un questionnaire. Le nombre de ménages interrogés a été déterminé par la méthode non probabiliste basée sur le principe du choix raisonné et par quota. Le quota X_i étant déterminé par la formule suivante : $X_i = n \frac{ni}{N}$ où n la taille de l'univers enquêté, ni la population du quartier et N la population totale de l'Arrondissement. Ainsi, sur les 6 498 ménages que compte l'arrondissement, cent (100) ont été enquêtés dont 19 à Aidjèdo, 18 à Cocuondji, 19 à Fifadji, 14 à Houégan, 9 à Kpomassè et 21 à Missèbo. Outre les ménages, huit (08) personnes ressources dont le Chef du Service technique de la mairie de Kpomassè, six (6) chefs de quartiers, deux (02) fermiers ainsi que le Chef du Service de l'hydraulique de la Commune ont été entretenus.

Au total, 112 personnes (y compris le maire et le chef d'Arrondissement) ont été interrogées dans le cadre de cette étude.

Traitement des données et analyse des résultats : Après les travaux de terrain, les différentes fiches d'enquêtes renseignées ont été codées et les informations ont été enregistrées dans une base de données pour être transformées en tableau et figure à l'aide du tableur Excel 2013. Le taux de desserte en eau potable a été calculé selon la formule de la DG-Eau (2005, p. 26) :

$$\text{Taux de desserte} = \frac{\text{Nombre d'équivalent point d'eau} \times 250}{\text{Population totale}} \times 100$$

Les résultats issus de ce traitement ont été analysés à l'aide du modèle SWOT ou FFOM (Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces).

RESULTATS

Typologie des sources d'eau potable dans l'Arrondissement urbain de Kpomassè : Cinq types d'ouvrages hydrauliques sont utilisés par les ménages pour s'alimenter en eau potable dans l'arrondissement urbain de Kpomassè. Ce sont les Adduction d'Eau Villageoise (AEV), les Bonnes Fontaines (BF), les Pompes à Motricité Humaine (PMH), les Postes d'Eau Autonomes (PEA) et les Puits Modernes (PM).

Adductions d'Eau Villageoises (AEV) : Ce sont des infrastructures constituées d'un forage, d'un système de pompage (pompe immergée) refoulant l'eau dans un château d'eau, d'un réseau de tuyaux permettant d'amener l'eau du château jusqu'aux points de distribution, de robinets réparties dans les quartiers en fonction de l'effectif de la population. Selon la DG-Eau (2005, p. 43), ce type d'ouvrage est préconisé pour une population d'au moins 2000 habitants. La photo 1 présente une adduction d'eau villageoise.



Photo 1: Un exemple d'Adduction d'eau villageoise dans le quartier Aidjèdo (Prise de vue : Abathan, novembre 2020)

Postes d'Eau Autonomes : Ce sont des ouvrages constitués d'un puits équipé d'un système de pompage motorisé, d'un réservoir de stockage et d'une rampe de distribution au pied du réservoir. Le système de pompage refoule l'eau par le biais d'un tuyau vers un réservoir de stockage. C'est de ce réservoir que l'eau est recueillie dans les bassines, bols et autres récipients par les usagers. La photo 2 montre un poste d'eau autonome dans l'arrondissement.



Photo 2: Exemple de poste d'eau au quartier Adjibamè (Prise de vue : Abathan, novembre 2020)

Bornes Fontaines : Ce sont des équipements métalliques ou en béton armé munis d'une tuyauterie alimentant un ou plusieurs robinets. Un système d'évacuation comportant un puisard et une tuyauterie d'évacuation complète l'ensemble du dispositif. La photo 3 présente une borne fontaine dans l'Arrondissement de Kpomassè (quartier Adjibamè).



Photo 3: Exemple de borne fontaine dans le quartier Adjibamè (Prise de vue : Abathan, novembre 2020)

Puits modernes : Ce sont des ouvrages à grand diamètre (1,5 à 2 m) aux parois protégées par des buses plaines en béton. Ils sont protégés par un couvercle métallique et sont munis d'une poulie reliée à une corde qui facilite le prélèvement de l'eau aux usagers. La photo 4 montre un puits moderne dans le quartier Agoudahocon.



Photo 4 : Puits protégé à Agoudahocon (Prise de vue : Abathan, novembre 2020)

Pompes à motricité humaine : Ce sont des pompes manuelles ou à pédales placées au-dessus d'un forage. La photo 5 présente une Pompe à Motricité Humaine installée dans le quartier Aidjèdo.



Photo 5: Pompe à motricité humaine à Aidjèdo (Prise de vue : Abathan, novembre 2020)

Les investigations de terrain et les échanges avec le chef du service technique ont permis d'enregistrer dans l'arrondissement urbain de Kpomassè, 27 bornes fontaines, 27 adductions d'eau villageoises, 13 pompes à motricité humaine, cinq (05) postes d'eau autonomes et 14 puits modernes. La figure 4 suivante présente la répartition spatiale de ces infrastructures.

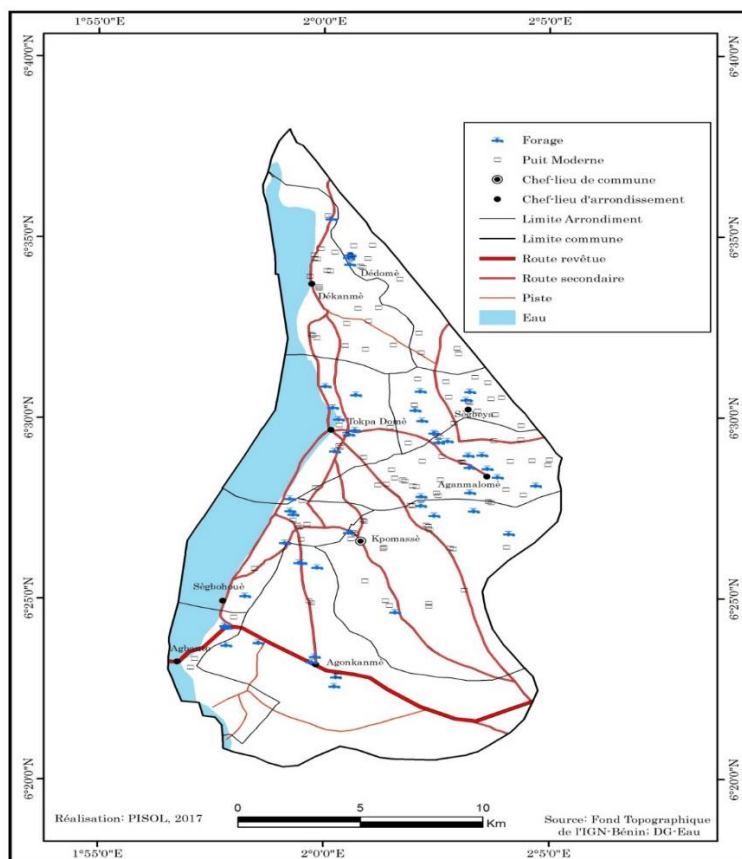


Figure 4: Répartition spatiale des sources d'eau dans l'arrondissement de Kpomassè Source : Enquêtes de terrain, novembre 2020

Il ressort de l'analyse de cette figure que les sources d'eau sont inégalement réparties dans l'arrondissement. La figure 5 ci-après montre les distances moyennes parcourues par les ménages avant d'accéder à une source d'eau potable.

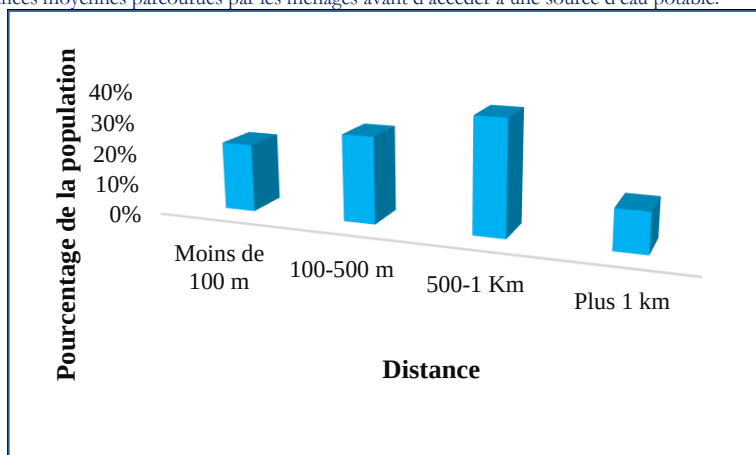


Figure 5 : Distance moyenne parcourue par les ménages pour accéder à une source d'eau potable. (Source : Enquêtes de terrain, novembre 2020)

Il ressort de la figure 5 que 22 % des ménages sont situés à moins de 100 m d'une source potable, 28 % sont situés entre 101 à 500 mètre des sources, 37 % entre 501 et 1 km ; enfin 13 % de ménages parcourent plus d'un kilomètre avant d'accéder à une source d'eau potable. La Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) dont les installations permettent aux citoyens de disposer d'eau potable à domicile (toilettes, cuisine, salle à manger, etc.) est absente de l'arrondissement.

Taux de desserte : Les effectifs de populations desservis par chacune des infrastructures hydrauliques sont présentés dans le tableau I ci-après.

Tableau I : Effectifs de population desservis par les infrastructures hydrauliques.

Type d'ouvrage	Nombre	Nombre fonctionnel	Nombre de localités desservies	Effectifs de population desservie
AEV	27	23	26	7349
PEA	05	05	05	754
PM	14	07	14	2018
FPM	13	09	05	1806
BF	27	22	26	7025
Total	86	66	76	18952

Source: Mairie de Kpomassè et enquêtes de terrains, novembre 2020

Le tableau I montre que sur un total de 86 infrastructures hydrauliques installées dans l'arrondissement, 66 sont fonctionnelles. Ces ouvrages desservent 18 952 habitants avec un taux moyen de desserte de 72,19 %.

Prix de l'eau dans l'Arrondissement de Kpomassè : En application du quatrième principe de la gestion intégrée des ressources en eau (dimension économique de l'eau), l'eau potable n'est pas cédée gratuitement aux ménages. Ceux-ci l'achètent au prix de 12,28 F/L au niveau des bornes fontaines, 10,14 F/L au niveau des pompes à motricité humaine et 0,6F/L au niveau des Adduction d'Eau Villageoise (AEV). Le coût relativement bas par rapport à la moyenne nationale (qui est de 15F/L), s'inscrit dans le cadre de la stratégie mise en place par les autorités communales pour inciter les populations à s'approvisionner en eau potable plutôt que de consommer l'eau des marres et marigots. La variation des prix d'une infrastructure à une autre serait due aux modes de gestion de ces infrastructures.

Modes de gestion des ouvrages hydrauliques : Deux modes de gestion sont adoptés pour gérer les ouvrages hydrauliques dans l'Arrondissement de Kpomassè : il s'agit de l'affermage et de la délégation à l'association des usagers d'eau. L'affermage est adopté pour les adductions d'eau villageoise et les pompes à motricité humaine. Il consiste à solliciter, par appel à concurrence, une personne privée, pour gérer les infrastructures hydrauliques pour le compte de la commune. Cette personne privée doit payer une redevance à la commune sur la base des recettes issues de la vente de l'eau. C'est M. SOSSOU Germain qui a la charge de l'affermage dans l'arrondissement.

La délégation à l'association des usagers est utilisée pour gérer les points d'eau autonome, les bonnes fontaines et les puits modernes. Cette délégation est conférée aux établissements Tonagnon dans l'arrondissement.

Des difficultés ont été enregistrées dans la gestion de ces sources d'eau et portent sur l'insuffisante capacité de production des AEV due aux pannes répétées du système de pompage, le manque d'entretien des BF et FPM, le manque de suivi des contrats d'affermage et de délégation qui se traduit par le non paiement ou le paiement par intermittence des redevances.

DISCUSSION

L'accès à l'eau potable n'est pas encore effectif pour tous les ménages de l'arrondissement urbain de Kpomassè. Les infrastructures hydrauliques installées ne parviennent à desservir que partiellement les quartiers du centre urbain. Et aucun système d'adduction d'eau n'est mis en place par la SONEB qui a pourtant vocation d'alimenter les ménages urbains en eau potable. Ces observations ne sont pas spécifiques à l'Arrondissement urbain de Kpomassè. Pour M. Boko et L. Odoulami (2009, p. 7), l'accès à l'eau potable pose problème même dans les grandes villes comme Cotonou. Certains quartiers de cette ville à savoir Vossa, Towéta 2 et Ladj sont sans réseau d'adduction d'eau de la SONEB pour plusieurs raisons : non lotissement des quartiers, insalubrité et faible pouvoir d'achat des ménages. Selon C. S. Lègba (2017, p. 127), l'accès à l'eau potable suppose la disponibilité de la source d'eau à moins d'un kilomètre par rapport au niveau d'adduction des ménages. Or 13% des ménages du milieu d'étude continuent de parcourir plus d'un kilomètre pour accéder à une source d'eau dans le centre urbain de Kpomassè. Les ouvrages d'eau sont certes gérés suivant les modes recommandés par la stratégie nationale d'accès à l'eau potable (DG-Eau, 2005, p. 39), mais le suivi de la mise en œuvre des contrats fait défaut. Ce constat rejoint celui de B. I. Dafflon (2010, p. 51) pour qui, la gestion durable des ressources en eau passe par un suivi rigoureux des contrats signés entre le public et les privés qui ont la charge de l'exploitation des infrastructures hydrauliques.

Pour C. Baron et A. Bonnassieu (2011, p. 21), le service public de l'eau potable est un service de proximité que les autorités locales doivent assurer en adoptant une stratégie qui tienne compte des réalités de leurs territoires. C'est ce qui ressort des résultats du présent travail qui indiquent que les autorités locales ont dû adopter des prix relativement bas de cession du litre d'eau potable aux populations pour tenir compte de leur pouvoir d'achat et éviter qu'elles délaissent les infrastructures d'eau potable pour s'approvisionner en eau dans les marigots et marres. C'est le même constat qui est fait par A. Zannou (2013,) pour qui le mode de gestion de l'eau doit être un processus qui favorise le développement et la gestion coordonnés de l'eau en vue de maximiser, de manière équitable, le bien-être économique et social, sans pour autant compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux.

CONCLUSION

L'étude des sources d'eau potable et leurs modes de gestion dans l'arrondissement urbain de Kpomassè, permet de constater qu'il existe cinq (05) types d'ouvrages hydrauliques à travers lesquels les ménages s'approvisionnent en eau potable dans l'arrondissement. Ces ouvrages hydrauliques desservent 18 952 habitants à hauteur de 72,19%. En réalité, ces types d'infrastructures sont ceux destinés à servir en milieu rural. Dans les villes, la responsabilité d'alimenter les ménages en eau potable incombe à la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB). Mais celle-ci, pour diverses raisons, ne parvient jamais à assumer avec efficacité cette mission. Le service public d'eau potable, qui est pourtant, un service de proximité se trouve hypothéqué par cette insuffisance de la SONEB. Il urge que l'Etat renforce les capacités de cette société pour lui permettre d'être plus efficace dans l'accomplissement de sa mission au service des ménages urbains.

Références

- [1] ALABAH Dègbédji Sévérin (2017) : Approvisionnement en eau potable dans l'arrondissement de Kèrè (commune de Dassa-Zoumè). Mémoire de maîtrise, FLASH / DGAT-UAC, p.69
- [2] BARON Catherine et BONNASSIEN Alain (2011) : Les enjeux de l'accès à l'eau en Afrique de l'Ouest : diversité des modes de gouvernance et conflits d'usages. De Boeck Supérieur | « Mondes en développement » 2011/4 n°156 | pages 17 à 32 ISSN 0302-3052 ISBN 9782804165147. Disponible sur <https://www.cairn.info/revue-mondes-en-developpement-2011-4-page-17.htm>.
- [3] BOKO Michel et ODOULAMI Léocadie (2007) : Problématique de l'approvisionnement en eau potable dans le 6ème arrondissement de la ville de Cotonou (Bénin). Cas des quartiers Vossa, Towéta 2 et Ladj. In Actes du 1er colloque de l'UAC des Sciences Cultures et Technologies, Géographie : pp 411-417.
- [4] BRIAND Anne et LEMAITRE Arnaud (2004) : Privatisation de la distribution de l'eau potable en Afrique : une aubaine ? Les territoires de l'eau, Université d'Artois, pp. 98-115
- [5] DAFFLON Bernard (2010) : L'économie politique de l'eau potable : de la source au robinet. Les enjeux de la gestion publique locale. In: Droit et gestion des collectivités territoriales. Tome 30, 2010. Les enjeux de la gestion locale de l'eau. pp. 43-60 ;doi : <https://doi.org/10.3406/coloc.2010.2135>
- [6] DG-Eau. (2005) : Stratégie Nationale d'Alimentation en Eau Potable en Milieu Rural.
- [7] du Nakambé au Burkina Faso, Mémoire de DEA « Espaces, Sociétés, Logiques économiques », Université de Toulouse Le Mirail/Enfa/Ensat
- [8] HOUMENOU Bernard (2006) : Gouvernance de l'eau potable et dynamiques locales en zone rurale au Bénin, Développement durable et territoires, Dossier 6, mai
- [9] INSAE (2013) : *Rapport provisoire des résultats du quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH 4)*. Cotonou, Bénin, 87 p.
- [10] LÈGBA Christian Senoumantin (2017) : Croissance urbaine et accès à l'eau potable dans la ville de Djougou. Thèse de Doctorat Unique pour l'obtention du grade de Docteur ès Lettres de l'Université d'Abomey-Calavi, 224 p.
- [11] ODOULAMI Léocadie (2009) : La problématique de l'eau potable et la santé humaine dans la ville de Cotonou (République du Bénin). Thèse de Doctorat Unique pour l'obtention du grade de Docteur ès Lettres de l'Université d'Abomey-Calavi, 230 p.
- [12] ZANNOU Arnaud (2011) : Analyse et modélisation du cycle hydrologique continental pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau au Bénin. Cas du Bassin de l'Ouémé à Bétérrou. Thèse de Doctorat unique en hydrologie. Université d'Abomey-Calavi, 256 p.

Contribution à l'étude de l'effet de la mise en défens sur la composition floristique

Benabdelmoumene Fatna¹, Benabadi Noury²

¹ Doctorante Faculté SNV/STU, BP 119, Imama

² Professeur Université de Tlemcen Faculté SNV/STU, BP 119, Imama

Résumé

Cette étude se base sur l'analyse diachronique des formations végétales identifiées par un type d'occupation de sols et de leur structure, dans le but de mettre en évidence et de comprendre les changements de l'organisation spatiale des structures paysagères au cours du temps sous l'impulsion des activités humaines et naturelles.

Pour cela une étude à caractère phytodynamique a été conduite entre 2010- 2011 et 2013-2015, cette approche sur la composition floristique consiste d'une part à estimer le rôle des contraintes climatiques et d'autre part à évaluer l'intensité de l'action anthropique, à cet effet une station mise en défens fut retenue.

Nous observons une augmentation tendancielle de la flore pendant les trois ans de suivi (2013-2014-2015) dans la zone de mise en défens, où, le fonds floristique et le recouvrement sont dominés par les espèces largement distribuées (Méditerranéen. et West Méditerranéen ...) qui viennent en tête pour le spectre phytogéographique, aussi la stabilité du milieu a été déterminée par le nombre d'espèces pérennes plus ou moins important où des essences forestières (Tamarix gallica et Pinus halepensis) ont été identifiées dans la station protégée notamment le long de l'oued Tafna.

Mots clés : Mise en défens, Flore, Anthropisation, Phytodynamique, Hammam Boughrara (Oranie, Algérie).

Contribution to study of Setting in défens on floristic composition

Abstract:

This study is based on the diachronic analysis of the identified plant formations subject to protection. It is a question of highlighting and understanding the changes in the spatial organization of landscape structures over time under the impulse of human and natural activities.

A diachronic study was conducted between 2010-2011 and 2013-2015, to understand the floristic composition in this station put in defense retained. This station is influenced by climatic constraints and anthropogenic actions.

The results show a trend increase in the floristic composition, confirming the effect of the defence on the vital attributes of the vegetation which results in improved seed production. It can also allow the restoration of the natural plant cover by improving the soil cover of several plant species and increasing the phytomass.

The floristic fund and collection are dominated by the widely distributed species (Mediterranean and West Mediterranean, etc.) that come at the top for the phytogeographic spectrum, also the stability of the environment has been determined by the number of more or less important perennial species where forest species (Tamarix Gallica, Pinus halepensis) have been identified along the Oued Tafna.

Key Words: Setting in défens, Flora, Anthropisation, Phytodynamics, Hammam Boughrara (Oran, Algeria).

¹ Corresponding author, benabadi.n@gmail.com

INTRODUCTION

Les plantes à fleurs, en raison de leurs exigences écologiques strictes, sont de bonnes indicatrices des conditions dans lesquelles elles se développent, par ailleurs en tant qu'organismes les moins mobiles, on peut penser qu'elles expriment au mieux les dynamiques paysagères et révèlent aisément l'impact des activités humaines sur la biodiversité dans les paysages agricoles Polunin [1]; Burel *et al.*, [2], et pour mieux comprendre la dynamique du couvert végétal, exprimée par la cinétique des successions dans le temps, il est nécessaire de rappeler les notions de résilience, de séquence de la végétation et de la vitesse de cicatrisation [3]. Il convient aussi de bien comprendre les processus de réponse des végétaux (extinction, migration ou persistance) face aux changements globaux du passé, afin de mieux estimer ceux du futur [4].

La mise en défens est une technique qui consiste à mettre au repos, des surfaces dégradées afin d'y favoriser la régénération des couvertures végétales et pédologiques [5]. Elle permet à un espace dégradé une évolution comparable à un écosystème en étroite relation avec les caractéristiques propres du milieu naturel qui l'abrite [6].

Cet article issu en partie d'un travail antérieur 2010-2011 et un travail récent 2013-2015, il se base sur l'analyse diachronique des formations végétales identifiées par un type d'occupation des sols et de leurs structures, dans le but de mettre en évidence et de comprendre les changements de l'organisation spatiale des structures paysagères au cours du temps sous l'impulsion des activités humaines et naturelles.

METHODOLOGIE

La zone d'étude est située dans le Nord Ouest de l'Algérie, appartenant à la wilaya de Tlemcen, elle est caractérisée par des pentes faibles, une couverture végétale faible et un substrat friable où différentes formes d'érosion sont observées.

Les communautés à *Atriplex halimus*, *Artemisia herba alba* et *Lygeum spartum* constituent les principales formations végétales dans cette région, cependant les peuplements d'*Artemisia herba alba* présentent une augmentation importante au détriment des végétaux à qualité pastorale.

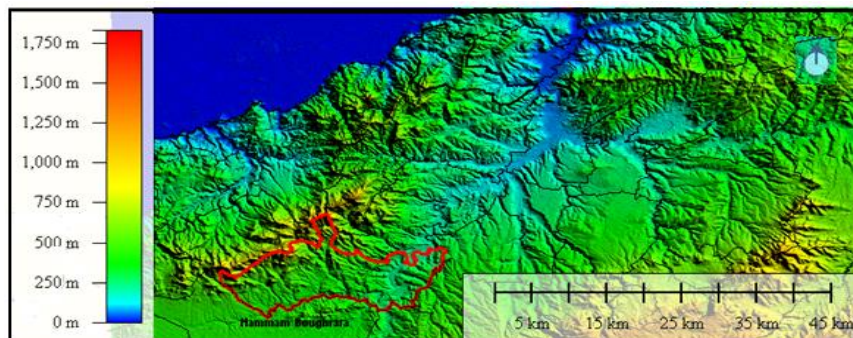


Figure 1 : Model numérique du Terrain (MNT) de la zone d'étude

Afin de tester la dynamique et la fluctuation de la flore dans le temps, qui sont appréciées par comparaison des listes floristiques et des indices comme l'indice de perturbation et l'indice de **Shannon**. Une étude phytoécologique de la végétation a été conduite dans la région Nord-ouest de l'Algérie (Hammam Boughrara), qui se base sur l'analyse spatio-temporelle de listes floristiques inventoriant l'ensemble des plantes vasculaires représentatives des différentes formations végétales selon la méthode de **Braun Blanquet (1951)** dans deux périodes différentes (2013-2014-2015) et (2010-2011).

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Nombre d'espèces, genres, familles

Tableau N°1: Nombre d'espèces herbacées et ligneuses, des genres et des familles sur une station témoin et une station protégée.

Stations	2010-2011			2013-2014-2015		
	Nombre d'espèces	Nombre de familles	Nombre du Genres	Nombre d'espèces	Nombre de familles	Nombre du Genres
Station témoin	84	33	75	87	35	71
Station protégée	40	18	36	64	29	56

Les stations d'études sont floristiquement riches où nous avons recensé 84 espèces au niveau de la station témoin et 40 espèces dans la station protégée entre la période 2010-2011 cette richesse floristique est légèrement modifiée pendant la période 2013-2014-2015 où nous avons enregistré 87 espèces dans la région la station témoin et 64 espèces dans la station protégée.

L'évaluation de la diversité des genres de la flore est aussi importante, dont nous avons estimé pour la période (2010-2011) 75 genres pour la station témoin, 36 genres au niveau de la station protégée, et pour la période récente (de 2013-2014-2015), nous remarquons un recul au niveau de la station témoin (71 genres). En revanche la station protégée marque une remontée biologique

ou presque par rapport à l'ancienne où nous avons comptabilisé, 56 genres. La plupart des genres ne sont représentés que par une seule famille (Asteracées) et correspondent surtout à des plantes herbacées.

La diversité de familles de la flore est de 33 familles pour la station témoin et 18 familles au niveau de la station mise en défens pour la période 2010-2011, la période de 2013 à 2015 a enregistré 35 familles dans la station témoin, 29 familles à la station protégée, elle est principalement représentée par la famille des Asteracées et les Poacées.

Indice de diversité de Shannon - Weaver 1947

$$H' = -\sum ((Ni / N) \log_2 (Ni / N))$$

Ni : Nombre d'individus d'une espèce donnée, i : Allant de 1 à S (nombre total d'espèces).

N : Nombre total d'individus.

Tableau N°2: Etude diachronique de l'indice de Shannon dans la station protégée et la station témoin

Stations	2010-2011		2013-2014-2015	
	H'	E	H'	E
Station témoin	3.13	0.41	3.12	0.48
Station protégée	3.62	0.67	4.16	0.68

La station protégée a enregistré une légère progression du couvert végétal dans des circonstances climatiques marquées par l'aridité, cette progression est le résultat de la mise en défens, par contre, la station témoin constituée entre autres de végétaux ligneux a connu une dynamique régressive causée en grande partie par les phénomènes érosifs.

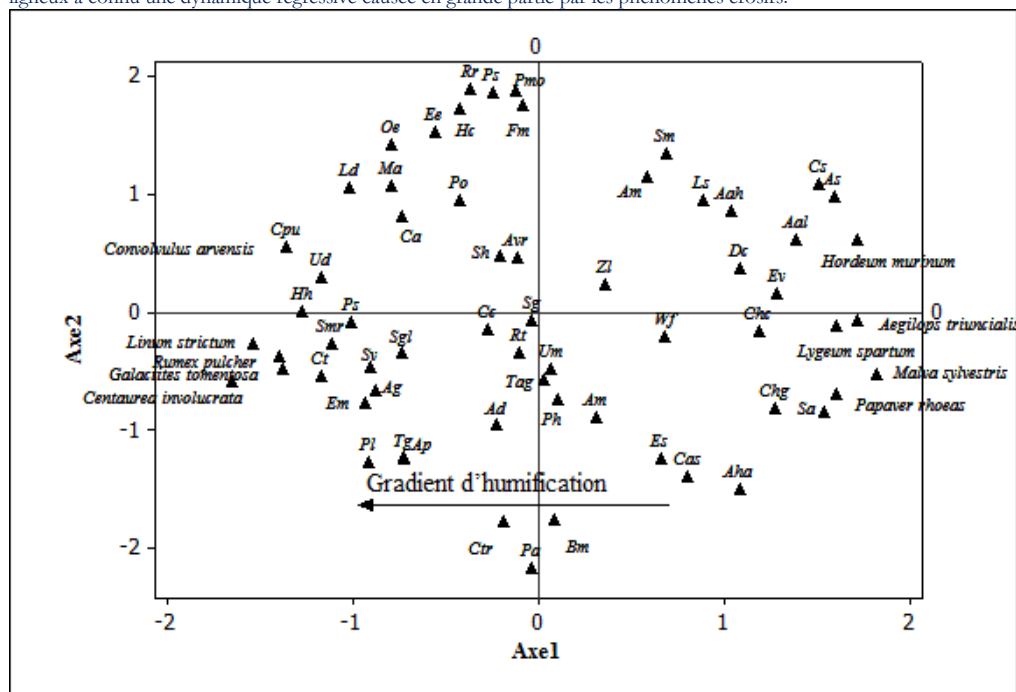


Figure 2: Plan factoriel des espèces de la station protégée (Axe 1, Axe 2)

L'axe suit un gradient d'humification où figurent dans le côté positif les espèces des sols pauvres *Malva sylvestris*, *Lygeum spartum*, *Hordeum murinum*, par opposition au côté négatif, les espèces post-culturelles occupent une surface importante : *Centaurea involucreta*, *Linum strictum*, *Rumex pulcher*. La mise en défens permet une remontée importante de la flore fourragère.

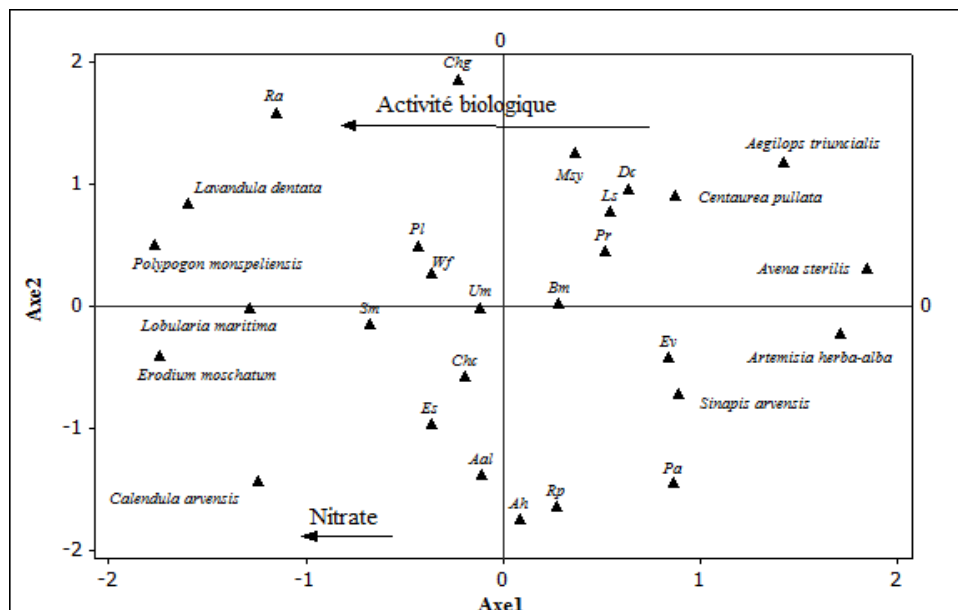


Figure 3: Plan factoriel des espèces de la station témoin (Axe1, Axe2)

Cet axe reflète le niveau d'activité biologique du côté positif vers le côté négatif où s'installent les taxons d'une pelouse du côté positif: *Avena sterilis*, *Aegilops triuncialis*, *Sinapis arvensis*, alors que le côté négatif présente une tendance nitrophylle: *Polygomon monspeliensis*, *Erodium moschatum*, cependant Balent *et al.* [7] montrent que le pâturage augmente la diversité spécifique quand l'intensité est moyenne, et la diminue quand l'intensité du pâturage est forte.

DISCUSSION

Les résultats montrent que le couvert végétal est en baisse avec cependant, une croissance de quelques espèces xériques telles que: *Artemisia herba-alba*, *Lygeum spartum*, *Atriplex halimus* et *Chamaerops humilis*, quoique plusieurs auteurs **Grouzis (1988)**, **Lericollais, (1987)**, **Warren et Agnew (1988)** affirment que la dégradation de la végétation se manifeste par une importante diminution de la couverture végétale, une raréfaction voire une disparition d'espèces ligneuses (*Pistacia atlantica*, *Olea europea*) et le remplacement progressif par des Poacées (*Hordeum murinum*, *Lygeum spartum*, *Bromus madritensis*) et des annuelles (*Echium vulgare*, *Plantago ovata*, *Sinapis arvensis*, *Asteriscus maritimus*) à cycle très court et par des espèces sans utilité pastorale comme *Atractylis gummifera*, *Ziziphus lotus* et *Echinops spinosus*.

Nous observons une augmentation tendancielle de la flore particulièrement les espèces à vocation pastorale (*Trifolium angustifolium*, *Papaver rhoeas*, *Avena sterilis*, *Carax punctata*) pendant les trois ans de suivi (2013-2014-2015) dans la zone protégée, ce qui confirme les acquis de **Floret et Pontanier [6]** où une mise en défens de 3 années parvient à multiplier par 10 la valeur de la phytomasse aérienne des annuelles et double la quantité de la biomasse consommable. Aussi, la mise en défens a un effet sur les attributs vitaux de la végétation qui se traduisent par une amélioration de la production de semences et peut permettre aussi la restauration du tapis végétal naturel par l'amélioration de la couverture du sol par plusieurs espèces végétales et l'augmentation de la phytomasse [11].

Il a été conclu que l'on ne pouvait parler de successions (ou de séquences) puisque le faible développement de la végétation ne permettait pas une influence suffisante de celle-ci sur l'environnement physique pour créer de nouvelles conditions de milieu, donc, les performances des écosystèmes paraissent davantage liées aux attributs fonctionnels des espèces qui les composent [12] [13].

CONCLUSION

Cette étude a mis un peu de lumière sur la nature et l'état de la flore, dont nous avons montré la faisabilité de l'étude diachronique de la flore des stations d'études qui indique que l'écosystème subit des effets des différents enjeux d'ordre anthropique et climatique.

Il apparaît cependant clairement que l'analyse de la richesse à différentes périodes permet de constater que la période 2013-2015 accuse une richesse importante par rapport à la période 2010-2011 qui présente une diversité floristique moins riche. Cette évolution progressive de la végétation peut se traduire par la mise en défens qui a permis d'obtenir une bonne évolution de la densité végétale et de la diversité floristique. Donc la mise en défens a un effet sur les attributs vitaux de la végétation, qui se traduit par une amélioration de la production de semences et peut permettre aussi la restauration du tapis végétal naturel, par l'amélioration de la couverture du sol par plusieurs espèces végétales et l'augmentation de la phytomasse.

Références

- [1] N. Polunin, 1967 - Eléments de géographie botanique. Paris. Gauthier- Vilars 532p.
- [2] F. Burel, J. Baudry, 1998 - Comparative biodiversity along a gradient of agricultural landscapes. *Acta ecologica*, 19 (1): 47-60.
- [3] M. Godron, 1984 - Ecologie de la végétation terrestre. Mass. et Cie. Paris, 196p.
- [4] F Médail, P. Quézel, 1997 - Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 84, 112– 127.
- [5] J.C Delwaule, 1975 - Le rôle du forestier dans l'aménagement du Sahel. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 60. 3-22.
- [6] C. Floret, R. Pontanier, 1982 - L'aridité en Tunisie présaharienne: climat, sol, végétation et aménagement. Thèse doctorat, Montpellier, 580 p.
- [7] G. Balent, D. Alard, V. Blanfort, A. Gibon, 1998 - Activités de pâturage, pour l'amélioration pastorale. *Opt. Méd.* 113-116.
- [8] M. Grouzis, 1988 - Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso), Coll. Etudes et Thèses, ORSTOM, Paris: 336p.
- [9] A. Lericollais, 1987 - La mort des arbres à Sob, en pays sereer (Sénégal). C RSTOM, Dakar, 16 p.
- [10] A. Warren, C. Agnew, 1988 - Une analyse de la désertification et de la dégradation des terres des zones arides et semi-arides. *IIED* n°2, 1-28.
- [11] M. Acherkouk, A. Maatougui, 2008 -Techniques de collecte des eaux pluviales : impact en zone aride de l'Orient. *Agriculture du Maghreb*, revue professionnelle filières fruits, légumes, céréales et élevage, N°30, Rabat (Maroc). 77-79.
- [12] J.P. Gime, 1977 - Biodiversity and ecosystem fonction: the debate deepens, *Science* 277. 1260-2061.
- [13] D.U., Hooper, P.M. Vitousek, 1977 -The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes, *Science* 277. 1302-1305.

Paramètres physicochimique et biologique des eaux souterraines en zone inter-dunaire en lien avec leurs aptitudes agricoles : cas des cuvettes oasiennes de N'Gaouri, département de Goudoumaria (Niger)

Assane Anabi Toudjani¹ and Nassirou Yacouba Yacouba¹

¹ Département productions végétales, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Diffa, Niger

Résumé :

La présente étude vise à déterminer les paramètres physicochimique et bactériologique des eaux souterraines dans un contexte de changement climatique et croissance démographique. Les échantillons sont prélevés de quelques puits et forages dans deux cuvettes au tour du village de N'Gaouri. Des analyses chimiques et bactériologiques sont ensuite réalisées au laboratoire. Cependant la température, la conductivité électrique et le pH des eaux sont été mesurés in situ. Des indices de qualité des eaux sont calculés afin de déterminer leur aptitude à l'irrigation. Il ressort des résultats que les eaux sont faiblement minéralisées avec des températures, pH, conductivité électrique moyens comparativement aux normes en vigueur. Les eaux sont de faciès bicarbonaté calcique et magnésienne, sodique et potassique, chloruré sodique et potassique. Les valeurs du SAR (< 5 meq/l), de l'indice de perméabilité ($< 1,3$ meq/l) et de l'indice de contamination (< 125 mg/l) indiquent que les eaux sont aptes à l'irrigation.

Mots clés : Eau souterraine, paramètres physicochimiques, biologie, irrigation, Niger

Physicochemical and biological parameters of groundwater in inter-dune area and it's suitability for agricultural use: case of oasis basins of N'Gaouri, District of Goudoumaria (Niger)

Abstract:

The present study aims to determine the physicochemical and bacteriological parameters of groundwater in a context of climate change and population growth. Samples are collected from several wells and boreholes in two oasis basins around the village of N'Gaouri. Chemical and bacteriological analyses are then performed in laboratory. However, the temperature, electrical conductivity and pH of the water were measured in situ. Water quality indices were then calculated to determine their suitability for irrigation. The results show that the water is poorly mineralized with medium temperatures, pH and electrical conductivity compared to the standards in force. The groundwater shows a bicarbonate calcic and magnesian, sodium and potassium, sodium chloride and potassium facies. The values of SAR (< 5 meq/l), permeability index ($< 1,3$ meq/l) and contamination index (< 125 mg/l) indicate that the water is suitable for irrigation.

Key words: Groundwater, physicochemical parameters, biology, irrigation, Niger

¹ Corresponding author: tassaneanabi@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'eau est la force motrice de la nature, la santé et le bien-être de l'humanité. A l'heure actuelle, elle constitue, la source naturelle la plus indispensable et la plus menacée (Sebihi, 2015). En ce sens, la compréhension des propriétés hydrauliques des couches aquifères et la caractérisation hydro chimiques de l'eau qu'elles contiennent sont nécessaires pour la planification et la gestion des ressources en eau souterraine (Naima et al., 2012).

L'exploitation des ressources en eaux souterraines débute à partir des années 50 en Afrique de l'Ouest francophone (Archambault, 1960). Cette exploitation était exclusivement axée sur le captage des aquifères d'altérites dans les zones cristallines. Ceci était dû à la méconnaissance ou sous-estimation du rôle hydraulique de la fracturation dans le socle, ou encore par faute de moyens adaptés pour la réalisation de forages profonds (Faillat, 1986, Moussa, 2019). Puis à la fin du vingtième siècle le monde entier a connu deux phénomènes majeurs, une explosion démographique et une concentration de la population dans les zones urbaines. Cette démographique a conduit les décideurs à privilégier une politique socio-économique orientée vers la satisfaction des besoins de base (logements, emplois...) au détriment des considérations environnementales et de l'amélioration du cadre de vie. Ceci a abouti au sahel à la modification de la qualité de la nappe d'eau souterraine par les projets industriels, les sachets plastiques, les bouteilles non dégradables, les déjections fécales, l'évacuation des éléments riches en nitrate dans le domaine agricole, la réfection des routes etc (Fofana, 2005, Savané et al., 2005, Traoré, 2005, Zairi, 2008, Zakaria et al., 2010, Gnagne et al., 2014, ARES, 2016, Mahamane, 2018). Cette modification de la qualité de la nappe rend le plus souvent les sources d'eau souterraine impropres pour la consommation humaine et animale. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture (Beauchamp, 2006). En effet l'irrigation est souvent vue comme la solution la plus évidente pour augmenter et sécuriser la production agricole dans les zones de climat aride, semi-aride, ou même dans les zones mieux arrosées, mais où la variabilité des précipitations fait courir des risques aux producteurs. En zone de forte densité de population, l'irrigation permet souvent de réaliser deux, voire trois cultures par an, là où une seule était permise par les pluies. En zone désertique, l'irrigation est évidemment la seule solution permettant de garantir une production agricole régulière et de maintenir des populations sédentaires (Verdier et al., 1992, Arnaud et al., 1994). La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par les mesures des paramètres physiques, chimiques et biologiques, dépendant des processus naturels ou d'origine anthropique (Loye-Pilot, 1990, 1995, Banton et al., 1997, Salle, 2008).

L'étude vise principalement à contribuer au développement socioéconomique, et écologique de la zone à travers l'évaluation de l'état des eaux de la nappe souterraine dans la zone des cuvettes de Goudoumaria pour une agriculture prometteuse et respectueuse de l'environnement.

MATERIEL ET METHODOLOGIE

Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est localisée dans la commune de Goudoumaria limitée à l'Est par les communes de Maïné Soroa et de N'Guel Beyli, à l'Ouest par la Commune urbaine de Gouré, au Nord par la commune rurale de Tesker et au Sud par l'Etat de Yobé (République Fédérale du Nigeria). (Figure 1).

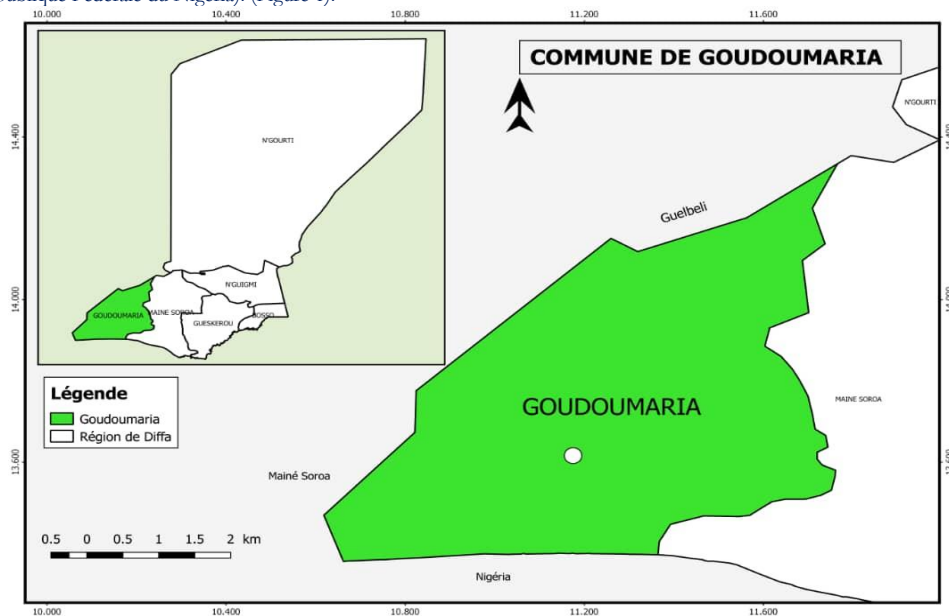


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Le relief de la commune est constitué des plateaux semi arides parsemés de collines ainsi que des bas-fonds et des cuvettes situés au niveau des dépressions inter-dunaires. Les cuvettes oasiennes sont le siège de forte concentration de natron et de sel à exploitation artisanale.

D'un point de vue climatique, le département de Goudoumaria se situe dans la zone nord sahélienne de la région qui se situe dans un climat de type Sahélien dans la partie sud et saharo-sahélien au nord (ROSELT, 2009).

Le réseau hydrographique de la commune est principalement constitué des eaux de surface composé de la mare permanente de Nguelitchondi et d'un chapelet de mares permanentes et cuvettes des bas-fonds. Quant aux eaux souterraines, elles sont formées par la nappe phréatique du Manga, dont la profondeur varie de 10 mètres le long de la Komadougou jusqu'à 50 mètres dans la partie nord et la nappe phréatique du pliocène (plus de 100 m de profondeur).

Collecte des échantillons

Les échantillons d'eau ont été prélevés au niveau des différents points d'eau (puits et forages) choisis grâce aux échantillonnages ponctuels pour des analyses classiques en minéraux dissous (anions et cations) dans des flacons en plastique de 750 ml. Une fois prélevés, les échantillons ont été placés et conservés dans des glacières tout long du transport jusqu'au laboratoire pour les analyses paramètres bactériologiques et hydro chimiques. Certains paramètres physiques tels que le pH, la conductivité électrique et la température ont été mesurés *in situ*.

Détermination des paramètres hydrochimiques

La caractérisation hydro-chimique s'intéresse à l'analyse des ions cations et anions majeurs tels que : Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} mais aussi des éléments indicateurs de la pollution des eaux tels que Fe^{2+} , F^- , NO_3^- , NO_2^- , Mn^{2+} .

L'analyse bactériologique

L'analyse bactériologique a pour but de mettre en évidence la présence des germes, basés sur la recherche et la numération de celles-ci dans les échantillons à analyser. Les germes recherchés sont : les Coliformes totaux la recherche et le dénombrement des Streptocoques fécaux,

Calcul des indices chimiques

Sodium adsorption ratio (SAR)

Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux calciums et magnésium. Lorsque le SAR est élevé, (à partir de 10), il faut augmenter le drainage, et apporter des amendements organiques, puis calciques lorsque le SAR du sol augmente, sauf sur les sols déjà riches en calcium soluble. Au-delà de 26, les risques d'alcalinisation sont élevés.

$$\text{SAR (meq/l)} = [\text{Na}^+]/\sqrt{([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])/2} \quad (1)$$

Indice de perméabilité

La perméabilité du sol est affectée par l'utilisation à long terme de l'eau d'irrigation et est influencée par le contenu de sodium, de calcium, de magnésium et de bicarbonate dans le sol [Donec, 1964, Srinivasa, 2013]. L'indice de perméabilité est déterminé par l'équation suivante.

$$\text{IP (\%)} = 100 * \frac{\text{Na} + \sqrt{\text{HCO}_3}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na}} \quad (2)$$

Indice de contamination (IC)

On considère que plus l'indice de contamination (IC) est élevé, plus le point d'eau est pollué en construisant des intervalles de classes en mg/l pour chaque élément servant au calcul de cet indice (Kherici, 1993).

$$\text{IC (mg/l)} = [\text{Na} +] + [\text{SO}_4 -] + [\text{Cl} -] + [\text{NO}_3 -] \quad (3)$$

RESULTATS

Paramètres physiques : Dans le cadre de la présente étude, plusieurs paramètres physiques ont été mesurés sur le terrain.

Conductivité électrique (CE) : La conductivité électrique a été mesurée in-situ est comparée à celle calculée au laboratoire afin de déterminer l'impact de l'acheminement sur l'état des échantillons et une éventuelle évolution de la minéralisation des eaux entre le prélèvement et les périodes d'analyses. Ainsi les valeurs de CE in-situ varient entre 65 au forage F1 et 862 au puits Pt (Tableau 1) indiquant une minéralisation élevée des points d'eau tributaires (Pm2 et Pt) des sites zouaza-carijawa. Aussi, la comparaison des valeurs montre une bonne corrélation avec des écarts légèrement bas.

Température (T) : La température des eaux étudiées est comprise entre 32,7 °C pour la plus grande valeur au forage F11 et 27,2 °C pour la plus petite valeur au puits Pm3 (Tableau X).

pH : Les pH des différents points d'eau échantillonnés dans la zone d'étude varient entre 5,71 et 7,28. La plus grande valeur a été enregistrée au niveau du forage F11 du village destiné à la consommation humaine, alors que la plus petite valeur a été enregistrée au niveau du puits Pt du site Carijawa (Tableau 1).

Tableau 1. Paramètres physiques des sites

Code des sites	Type	CE25	CE	T°C	I
F1	Forage	58,76	65	29,8	1
F2	Forage	63,072	73	31,8	2
Pt	Puisard	893,032	862	23,2	3
Pm1	Puisard	223,5	250	30,3	3
Pm2	Puisard	726,63	795	29,3	1
F11	Forage	156,51	185	32,7	3
Pm3	Puisard	446,452	467	27,2	

Hydrochimie : Les eaux échantillonnées sont repartis selon leur composition hydro-chimique. Cette composition chimique de l'eau a permis de décrire principalement quatre zones dans le diagramme Piper le long de l'écoulement des eaux. Il s'agit du faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, du faciès bicarbonaté calcique, du faciès bicarbonaté sodique et en fin le faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique. Aussi, l'analyse du triangle des anions montre une prédominance des bicarbonates, à l'exception de l'échantillon F1 qui correspond à un faciès sulfaté. Dans le triangle des cations, la dominance traduit un faciès mixte sodique, potassique et calcique. On remarque ainsi une évolution graduelle de la minéralisation du bicarbonaté calcique vers le chloruré et sulfaté calcique et magnésien avec une augmentation des nitrates traduisant une certaine empreinte anthropique dans l'échantillon du puits Pt (Figure 2).

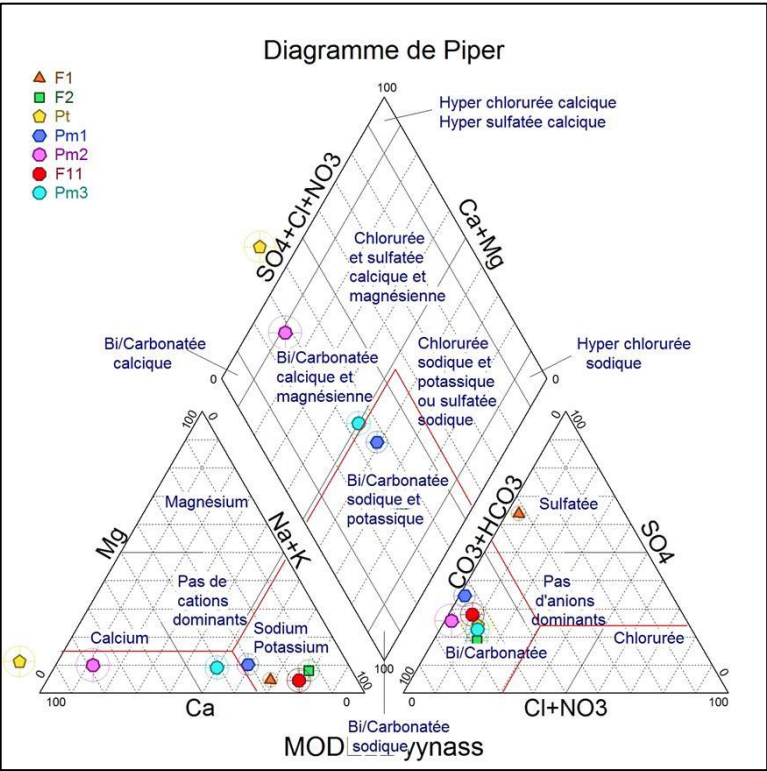


Figure 2. Faciès hydrochimiques des eaux

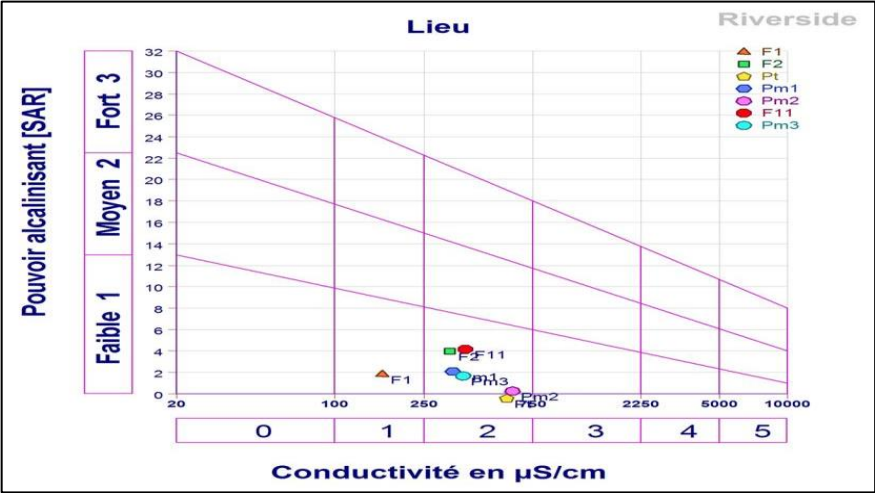
Aptitude des eaux à l'irrigation

Le SAR : Les valeurs du SAR varient de -0,55 à 4,14. Il ressort de ces résultats que les eaux de la zone étudiée présente une bonne aptitude à l'irrigation. Ainsi, ces eaux appartenant majoritairement à la classe C2S1 sont caractérisées par un faible risque de salinisation à l'exception de l'échantillon F1 de la classe C1S1 à faible un risque d'alcalinisation (Tableau 2)

Tableau 2. Classes du SAR et utilisation des eaux pour l'irrigation

Classe	Echantillons	Caractéristiques
C1S1	F1	Eau utilisable pour l'irrigation de la plupart des espèces cultivées et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation
C2S1	F2, F11, Pm1, Pm2, Pm3, Pt	eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel. Eau utilisable pour l'irrigation de la plupart des espèces cultivées, mais veiller au lessivage, difficile dans les sols peu perméables, et au drainage

Il ressort du résultat de l'indice croisée entre SAR vs CE à 25°C que toutes les eaux échantillonnées se situent dans la classe faible 1 (valeur de SAR inférieur à 5) du diagramme, indiquant une convenance à l'irrigation (Figure 3)



L'indice de perméabilité (IP) : L'indice de perméabilité (tableau 3) a été déterminé dans le but de comprendre la quantité de sodium, la concentration en bicarbonates et la nature du sol. Il ressort des résultat (Tableau 3) que les eaux sont catégorisée dans trois classes allant de médiocre pour l'échantillon Pt (20,85%) à excellente pour les échantillons F1 (118,41%), F2 (127,34%), F11 (121,03%), Pm1 (104,37%), Pm3 (92,86%) en passant par la classe bonne qui caractérise l'échantillon Pm2 (42,19%).

Tableau 3. Classification des eaux souterraines selon IP

%IP	Classification	Source hydrique
<25	Médiocre	Pt
25 - 75	Bonne	Pm2
>75	excellente	F1, F2, F11, Pm1, Pm3

Indice de contamination (IC) : Un indice de contamination a été calculé pour les eaux échantillonnées afin de déterminer l'origine de la minéralisation des eaux. Pour cela, chaque élément du site de prélèvement a fait l'objet d'analyse par additionnement. Des résultats (Tableau 4), on dénombre 5 points d'eau à faible indice de contamination contre deux échantillons à valeurs élevées notamment les points F2 et Pt localisés à la périphérie de la cuvette de carijawa présentant des risques de pollution d'origine anthropique.

Tableau 4. Indice de contamination (IC) des échantillons

Ions, Indice	Na	IO ₄ ²⁻	IO ₃ ⁻	Cl ⁻	IC
Echantillons					
F1	1	1	1	1	4
F2	1	1	2	1	5
Pt	1	1	3	1	6
Pm1	1	1	1	1	4
Pm2	1	1	1	1	4
F11	1	1	1	1	4
Pm3	1	1	1	1	4

Analyses en composantes principales

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur les échantillons des eaux souterraines de la zone d'étude suivi d'un test de corrélation de Pearson afin d'identifier sommairement les différentes corrélations entre éléments chimiques majeurs. Pour cela, les valeurs de concentration des ions HCO₃⁻, F⁻, NO₂⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, Fe⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Mn⁺ ont été utilisées. Ainsi, la représentation des variables montre un composant 1 défini positivement par les concentrations en Na⁺ et Mn⁺ et un composant 2 caractérisé positivement par HCO₃⁻, F⁻, SO₄²⁻, Fe⁺, K⁺, Mg²⁺, et Ca²⁺ (Figure 4).

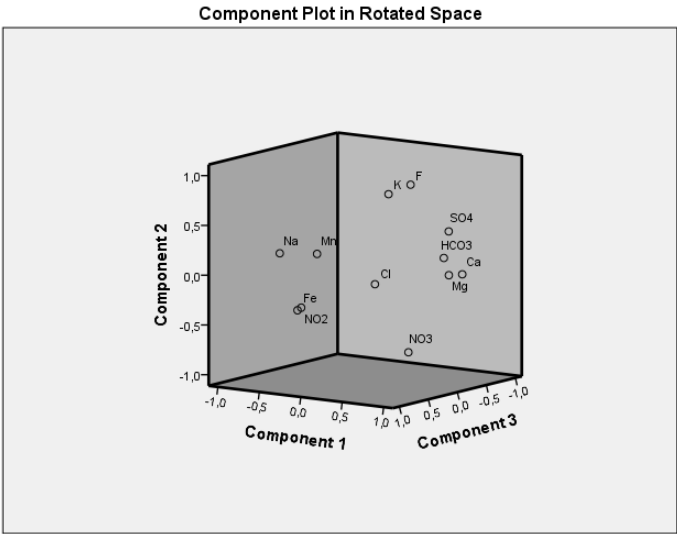


Figure 4. ACP des eaux souterraines de la zone d'étude

La distribution spatiale des échantillons dans un champ factoriel montre que 46,115 % de la variance, 66,385 % de la valeur cumulée, 13,676 % de la variance et 80 % de la valeur cumulée des valeurs initiales de Eigen sont portés respectivement par les axes 1, 2, 3 et 4 (Tableau 5).

Tableau 5. Pourcentage des variances et valeurs cumulée de la distribution des échantillons

Component	Initial Eigen values		Rotation Sums of Squared Loadings	
	% of Variance	Cumulative %	% of Variance	Cumulative %
1	46,115	46,115	37,419	37,419
2	20,270	66,385	21,580	58,999
3	13,676	80,060	17,150	76,149
4	8,395	88,456	12,306	88,456

Analyse de variance (one way)

Une analyse de variance a été appliquée aux différents indices de mesure de l'aptitude des eaux à l'irrigation afin d'apprécier leur niveau de compatibilité dans les eaux échantillonnées. Les résultats de l'analyse avec une probabilité P value = 0,27 (P > 0,05) indique l'absence de différences significatives entre les différentes méthodes utilisées.

Caractérisation bactériologique

Pour l'étude des caractéristiques bactériologiques des eaux échantillonnées, des analyses ont été réalisées au laboratoire de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Diffa. Pour les coliformes fécaux, aucune présence n'a été décelée dans les différents échantillons. Cependant, les analyses ont permis la mise en évidence de la présence des coliformes totaux dans l'échantillon F2 témoignant une éventuelle pollution organique liée aux activités anthropiques (Tableau 6).

Tableau 6. Analyse bactériologique

Source hydrique	Coliforme fécaux	Coliforme totaux
F2	Néant	Incomptable (> 10)
F1	Néant	Néant
Pt	Néant	Néant
Pm2	Néant	Néant
F11	Néant	Néant
Pm3	Néant	Néant

DISCUSSION

Paramètres physiques

Plusieurs paramètres physiques ont été mesurés durant la présente étude incluant la conductivité électrique, le pH et la température.

Les valeurs de CE, pH et températures obtenues dans cette études sont inférieures à celles de beaucoup d'études antérieures, notamment celles rapportées par Bradaï et al. (2008) en Tunisie, N'diaye et al. (2010) dans le périmètre maraîcher de Sebkhâ à Nouakchott, El Alaoui (2010) dans la zone de Haouz au Maroc, Naima et al. (2012) dans la plaine de Tadla au Maroc, Srinivasa (2013) en Inde, Adda (2013) en Algérie, Amadou et al. (2014) dans la région de Tillabéry au Niger, Bouchemal et al. [2015] dans la région de Biskra (Algérie) et Kaouther et al. (2016) au niveau de la plaine de Sidi Bouzid (Tunisie centrale). Ceci pourrait être dû à une pollution d'ordre anthropique et organique dans ces zones, à l'influence de la situation géographique et à la lithologie de l'encaissant ou de l'indice chloro-alcalin. Cependant, les valeurs des paramètres physiques sont proches de celles obtenues par Gonzalez-barrios, (1992) dans la zone aride du Mexique, Rouabhia et Djabri (2010) dans l'aquifère miocène de la plaine de l'el ma el abiod en Algérie et Rodrigue et al. (2016) dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire.

La conductivité électrique croît au même moment que la concentration des ions en solution, la pression osmotique et la température. Aussi, plus la CE est élevée, plus il y'a d'ion dans l'eau donc capable de favoriser les apports d'eau contaminée provenant de l'activité agricole. En revanche, chez la plante, l'effet principal d'une eau de CE élevée sur la productivité des cultures aura pour conséquence inaptitude de la plante à concurrencer les ions dans la solution du sol. Plus la CE est élevée, moins l'eau disponible pour les plantes est faible même si le sol peut être humide en raison de la saturation du milieu en éléments minéraux.

Le pH de l'eau d'irrigation peut également impacter considérablement la forme, la disponibilité des éléments nutritifs mais aussi l'accumulation d'éléments non désirables dans le sol. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des microéléments est optimale. Les valeurs mesurées *in situ* indiquent que les échantillons des forages F1 et F2 du site de carijawa ont une aptitude acceptable pour la production. Par contre les puits Pt du site carijawa, Pm1 de libdê, Pm2 de zouaza, Pm3 de kankarê ainsi que le forage F11 destiné à la consommation des ménages du village sont conforme à la norme OMS (6,5 à 8,5).

Faciès hydrochimiques et indices de qualité

L'hydrochimie des eaux souterraines de la zone est constituée de faciès de type chloruré et sulfaté calcique et magnésien, du faciès bicarbonaté calcique, du faciès bicarbonaté sodique et en fin le faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique avec une prédominance de l'ion HCO_3^- pour les anions. Ce résultat corrobore ceux rapportés par Sauret [2005] au Burkina Faso, El Alaoui et al. (2010) au Maroc et Sven (2012) au Niger.

Les indices calculés ont pour but de catégoriser les eaux échantillonnées afin de déterminer leur aptitude à l'irrigation. Ainsi, les valeurs du SAR obtenues dans cette étude sont inférieures à 5 pour l'ensemble des eaux échantillonnées. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Rodrigue et al. (2016) dans le département d'Agboville, avec des valeurs du SAR inférieures à 10, Boughalem et al. (2017) dans la région d'Ain Témouchent, et Bouslah (2018) dans le Remblai en Algérie. Cependant, ces résultats sont différents de ceux de El Alaoui et al. (2010) dans les eaux souterraines de la plaine du Haouz, Naima et al. (2012) dans la plaine de Tadla au Maroc, Bousalsal (2016) en Algérie, Bouka et al. (2018) sur le site maraîcher de Atti-Apédokoe dans la préfecture de l'Avé au Togo qui ont rapporté des valeurs de SAR nettement supérieures. Cela pourrait être dû à une dissolution des sels par les précipitations, à l'interaction de la nappe, la dominance des ions calcium et les eaux de ruissellement dépendant de la nature de la roche. En cas d'augmentation du calcium augmente, l'alcalinité décroît, les nitrates augmentent, le SAR demeure dans des normes acceptables et le sodium est moins élevé. C'est ce qu'on observe au le puits traditionnel Pt témoin de l'intensification de l'activité agricole avec des répercussions comme le dessèchement des plantes, la baisse de la productivité, la formation de croutes blanchâtre à la surface des sols, la toxicité sodique, du fait de l'importante charge en sodium des sols et de la nappe superficielle.

Quant à l'indice de contamination des eaux de la zone d'étude, elle est faible pour la majorité des échantillons en dehors des points F2 et Pt localisés à la périphérie de la cuvette de carijawa où les activités anthropiques surtout le défrichement, l'exploitation du natron et l'élevage produisent beaucoup de matières organiques susceptibles de générer des risques de pollution. Ce résultat est cependant différent de celui de Rouabhia et al. (2004) dans la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie) avec un indice de contamination supérieur. Cela est dû principalement à l'action anthropique incarné par une pollution d'origine agricole, domestique, urbaine et industrielle. Au Liban, le phénomène a été plus intrusif incriminant l'intrusion d'eau marine due à une exploitation mal maîtrisée des eaux souterraine à travers un pompage excessifs des puits durant les périodes non pluvieuses, provoquant un abaissement des niveaux de la nappe en inversant le gradient d'écoulement souterraine et à la formation quaternaire (Halwani et al., 2002).

Etude bactériologique

L'absence bactériologique dans les points d'eau ordinaires est pourrait être due à la filtration d'eau pouvant assurer une certaine désinfection totale par le processus de rétention des microorganismes, mais aussi au rôle tant important du soleil. En effet ce dernier joue un rôle déterminant dans la désinfection bactérienne. De plus, cette absence dans ces eaux pourrait s'expliquer par les taux un peu plus élevés des ions ferreux qui sont hors des normes de OMS et FAO. Selon Guillemain et Roux (1992) une présence de fer peut favoriser la multiplication de certaines souches de bactéries. Celle-ci entraînerait à la fois la rouille de

tuyau de canalisation et le tubage de forage lorsqu'il agit comme un accepteur d'électron. Or le matrice de corrélation ci-dessous a indiqué un accouplement entre le fer et le sulfate de corrélation négative. Au cours de l'oxydation de l'atome de fer II, il perd deux électrons. Cela sous-entend que chaque molécule de sulfate de fer II libère toute la molécule d'eau (anhydre) parfois en s'hydratant. En résumé, la corrélation sulfatée ferreux se manifeste sous une forme de poudre blanchâtre à l'état anhydre. Mais c'est seulement lorsqu'il possède le caractère sulfaté ferrique fer III qui reconduit l'eau et son système de canalisation en rouille. A noter bien le sulfatée ferreux peut néanmoins subir une déshydratation dans ce genre de situation on désigne le plus souvent à un effet d'efflorescence des cristaux ou une provocation donnant suite à des réactions déstabilisantes des microorganismes accompagnées d'un passage du caractère sol mutante façonné par le temps vert à la rouille. Par rapport à nos analyses une fois que la corrélation redevient positive le sulfate de fer peut redevenir un problème sérieux à cause de la faible quantité de l'acide sulfurique. En effet, une augmentation de l'acide sulfurique ne peut qu'influencer le processus de l'oxydation des ions en solution. De même les résultats corroborent ceux de la zone d'étude de Ayouba Mahamane et Guel (2015), Sauret (2005) au Burkina selon qui la présence d'ion Fer exerce un pouvoir réducteur de micro-organisme ou décomposeur. Talabi et al. (2013) au Nigeria ont dénombré de coliforme total supérieur à la norme et à notre étude. Cette contamination de l'eau proviendrait probablement à partir des déchets animaux et humains introduits dans les eaux de ruissellement de surface, les pâturages et autres zones terrestres où des déchets animaux ont été déposés.

CONCLUSION

Cette étude qui s'inscrit dans le cadre de la gestion des ressources naturelles au Niger a concerné les eaux souterraines du terroir de N'Gaouri, a permis leur qualité physico-chimique et bactériologique. Il ressort que les eaux sont faiblement minéralisées avec des températures, pH, conductivité électriques moyens comparativement aux normes en vigueur. Ces eaux sont caractérisées par des faciès chimiques bicarbonaté calcique et magnésienne, sodique et potassique, chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique. Les valeurs des indices chimiques tels que le SAR, la dureté totale, l'indice de perméabilité ainsi que l'indice de contamination indiquent que dans la plupart des cas les eaux sont aptes à l'irrigation. Ces résultats constituent une base de données pouvant servir la recherche scientifique mais aider les acteurs intervenant dans ces cuvettes dans la prise de décision pour une meilleure utilisation.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le ProDAF (Projet de Développement de l'Agriculture Familiale) pour le financement de cette recherche. Ils expriment également leurs remerciements à la Direction Régionale de l'Hydraulique de Diffa pour les analyses chimiques et biologiques des échantillons d'eau.

Références

- [1] Amadou, H., Laouali, M. S., et Manzola, A. (2014). Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région de Tillabéry : application des méthodes d'analyses statistiques multi variées. *Larhyss journal* 20 : 25-41.
- [2] ARES, (2016). Colloque scientifique international sur la préservation et l'utilisation durables des systèmes oasiens. Université Abdou Moumouni – Université de Liège – Université Catholique de Louvain : Recueil des Résumés 120 p.
- [3] Archambault, J., (1960). Les Eaux Souterraines d'Afrique Occidentale. Berger Levrault, Nancy, 139 p.
- [4] Arnaud, L., Gay B. (1994). De l'eau pour le maraîchage. GREC – Ministère de la Coopération, Paris, 128 p.
- [5] Ayouba Mahamane, A., Guel B., (2005). Caractérisations physico-chimiques des eaux souterraines de la localité de Yamtenga (Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 9(1) : 517-533.
- [6] Banton, O., Bangoy, L. M., (1997). Hydrogéologie : multiscience environnementale des eaux souterraines. Presse de l'Univ. Du Quebec (Canada)/Aupelf, 460 p.
- [7] Beauchamp, J. (2006). Qualité et Pollution des Eaux Souterraines. Université de Picardie Jules-Verne. <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-8.htm>, consulté le 05 mai 2021.
- [8] Bouchemal, F., Bouchahm, N., Achour, S. (2015). Qualité des eaux des nappes aquifères de la région de BISKRA. *Journal of Fundamental and Applied Sciences* 3(1): 34- 44.
- [9] Boughalem, M., Bouyejra, R. B., Bouyejra M. B., Boucherit, H. (2017). Risque du SAR dans l'eau de puits destinée à l'irrigation dans la région d'Ain Témouchent- Algérie. *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement* 2(2) : 28-31.
- [10] Bradaï, A., Douaoui, A., Marlet, S. (2008). Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Chelif, Algérie. Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma, Mostaganem, Algérie, 26-28 mai 2008, 1-7 pp.
- [11] Canovas, C. J. (1986). Calidad Agronómica de las agua de riego. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, Espagne, 3 p.
- [12] Doneen, L. D. (1964). Notes on Water Quality in Agriculture, Published as a Water Science and Engineering, Paper 4001, Department of Water Sciences and Engineering, University of California, Davis.
- [13] Faillat, J. P. (1986). Hétérogénéité et effet d'échelle dans les aquifères fissurés. Approche par pompage d'essai sur station expérimentale (Afrique de l'Ouest). *Hydrogéologie* 1, 65-76.

- [14] Fofana, F. (2005). Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe d'Abidjan selon les méthodes Drastic et God. Mém. DEA, Université Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire. 72 p.
- [15] Gonzalez-Barrios, J. L. (1992). Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride Mexicaine : Exemple dans la "Comarca Lagunera". Thèse de doctorat, Université Montpellier II, France, 320 p.
- [16] Halwani, J., Ouddane, B., Crampon, N., Wartel, M. (2001). Contamination saline dans les eaux souterraines de la plaine d'Akkar au Liban. Journal Européen d'Hydrologie 32 (1) : 93-108.
- [17] Kherici, N. (1993). Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine de Annaba–la Mafragh, Algérie. Thèse de docteur–ès–sciences, Université d'Annaba, Algérie, 120 p.
- [18] Loyer-Pilot, M. D., Martin, J. M., Morelli, J. (1990). Atmospheric input of inorganic nitrogen to the Western Mediterranean. Biogeochemistry, 9, 117-134.
- [19] Naima, E. H., Mohamed, S., Brahim, L., Lakhdar, E., M. (2012). Evaluation de la qualité des eaux souterraines pour l'utilisation dans l'eau potable et l'agriculture : plaine de Tadla, Maroc. Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie 08(1): 54 – 66.
- [20] N'Diaye, D. A., Kankou, O. A. S. O. M., Lo, B., (2010). Etude de la salinité des eaux usées utilisées dans l'irrigation dans le périmètre maraîcher de Sebkhia, Nouakchott. International Journal of Biological and Chemical Sciences 4(6): 2060-2067.
- [21] Rodrigue, K. O. G. S., Drissa, T. S., Abou, T., Rosine, M. N. F., Nagnin, S. (2016). Aptitudes À L'Agriculture Des Eaux Souterraines Du Département d'Agboville (Sud-Est De La Côte d'Ivoire). European Scientific Journal 12 (21): 81-100.
- [22] ROSELT (2009). DNSE du Niger : Etat de Reference des Observatoires de Diffa, Zinder, Azawad et Torodi-Tondikandia. Rapport, Niamey, Niger, 118 p.
- [23] Rouabhia, A. E. K., Djabri, L. (2010). L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma El Abiod. Larhyss Journal 8 : 55-67.
- [24] Rouabhia, A., Baali, F., Kherici, N., Djabri L. (2004). Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie). Sécheresse 15 (4) : 47-52.
- [25] Savané, L., Goula-Bi, T. A., Aristide, D. G., Kouamé, K. L. (2005). Vulnerability assessment of the Abidjan quaternary aquifer using the DRASTIC method. Groundwater Pollution in Africa, CRC Press, 115- 124 pp.
- [26] Sebihi, Z. (2015). La qualité physico-chimique des eaux de l'OUED RHUMEL A. Mémoire de Master. Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie, 52 p.
- [27] Srinivasa, R. K. (2013). Assessment of groundwater quality for irrigation of Bhaskar Rao Kunta watershed, Nalgonda District, India. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering 5(7): 418-425.
- [28] Sauret, E. S. G. (2005). Caractérisation hydro chimique et qualité des eaux souterraines du projet hydraulique villageoise 310 forages, dans la boucle du mouhoun : provinces des Banwa, des balles, du Mouhoun et de la Kossi (Burkina Faso), Mémoire d'ingénieur géologue, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 63 p.
- [29] Sven, M. (2012). Campagne de mesure des eaux souterraines dans la région de Niamey, Niger. Rapport, Autorité du Bassin du Fleuve Niger (ABN), Niamey, Niger, 31 p.
- [30] Talabi, A. O., Afolagboye, O. L., Tijani, M. N., Aladejana, J. A., Ogundana, A. K. (2013). Hydrogeochemical Assessment of Surface Water in the Central Part of Ekiti-State, Southwestern Nigeria. American Journal of Water Resources 1(4): 56-65.
- [31] Traoré, A. (2005). Pollution des eaux souterraines de la région d'Abidjan par les composés azotés. Bilan des connaissances origine et évolution de ces composés. Mémoire DEA Université Abobo- Adjamé, Côte d'Ivoire, 77 p.
- [32] Zairi, R. (2008). Etude géochimique et hydrodynamique de la nappe libre du Bassin du Lac Tchad dans les régions de Diffa (Niger oriental) et du Bornou (nord-est du Nigeria). Thèse de doctorat, Université Montpellier II, France, 208 p.
- [33] Zakaria, K., Karima, B., Marcel, K., Nicolas, F., Mohamed, T., Mostafa, E. (2010). L'innovation institutionnelle dix ans plus tard : quelles opportunités pour les agriculteurs, et quels apprentissages pour les pouvoirs publics ? Le cas des associations d'irrigants au nord du MAROC. ISDA 2010, Montpellier, France, 28-30 Juin 2010, 1-12 pp.

Croissance démographique et dégradation de l'environnement dans la ville

d'Agoué au Bénin

Cyr Gervais Etene¹

1. Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE) Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

Résumé :

L'évolution de la population est un processus, non maîtrisé, qui se caractérise par la croissance des villes et de leur périphérie au détriment des espaces ruraux.

La présente recherche analyse les liens entre la croissance démographique et la dégradation de l'environnement à Agoué.

La démarche méthodologique a consisté à la collecte des données, au traitement et à l'analyse des données.

Les résultats issus de cette recherche montrent que l'implantation des infrastructures implique l'installation des acteurs qui sont des usagers de ces écoles, de centres de santé, le commissariat et le marché à Agoué ce qui favorise l'achat des parcelles, construction et développement des autres services connexes. Les principaux modes d'accès à la terre sont l'héritage la location. Leurs taux sont respectivement de 40% et 35%. Quant aux autres modes d'accès à la propriété foncière que sont l'achat le don et le prêt leurs proportions sont respectivement 15%, 5% et 5%.

L'accroissement sans cesse de la population impose une pression considérable sur les ressources naturelles et, dans bien des cas, entraîne leur dégradation et leur épuisement. Les hommes s'adaptent à l'environnement et en même temps le transforment. La population agit sur l'environnement par son effectif, sa densité et sa croissance.

Le principal facteur de ces mutations spatiales est la croissance démographique.

Mots clés : Bénin, Agoué, croissance démographique, environnement, dégradation.

Population growth and environmental degradation in the city of Agoué in Benin

Abstract:

Population change is an uncontrolled process characterized by the growth of cities and their outskirts to the detriment of rural areas. This research analyzes the links between population growth and environmental degradation in Agoué. The methodological approach consisted of data collection, data processing and analysis. The results of this research show that the establishment of infrastructure involves the installation of actors who are users of these schools, health centers, the police station and the market in Agoué which promote the purchase of plots, construction and development of other related services. The main modes of access to land are rental inheritance. Their rates are 40% and 35% respectively. As for the other modes of access to land ownership, namely purchase, donation and loan, their proportions are respectively 15%, 5% and 5%. The ever-growing population places considerable pressure on natural resources and, in many cases, leads to their degradation and depletion. People adapt to the environment and at the same time transform it. People affect the environment through their size, density and growth. The main factor behind these spatial changes is population growth.

Key words: Benin, Agoué, population growth, environment, degradation.

¹ Corresponding author: cyr.gervais.etene@hotmail.com

INTRODUCTION

L'installation des industries a favorisé la croissance spatiale et démographique rapide des villes résultat des apports migratoires intenses (mains d'œuvre issues des campagnes). Ainsi, les cités intra-muros n'existent plus, l'urbanisation s'étend loin au-delà du noyau primitif. A la fin du XIX^{ème} siècle, les différentes fortifications érigées de part et d'autre dans les grandes villes européennes étaient devenues inutiles. Pour T. Vigninou (2010, p.370), entre les deux guerres, les forces de l'urbanisation ont exercé leurs effets les plus importants en périphérie urbaine. La dynamique de l'espace déjà bâti ne s'est exprimée dans les centres que par de simples réajustements du contenu, laissant généralement intacte l'ordonnance du contenant. Parallèlement à cette explosion démographique, les besoins des citadins se sont accrus (O. Dossou Guèdègbé, 2005, p.348) entraînant ainsi une forte dépendance des villes vis-à-vis de leurs arrière-pays et favorisé d'intenses relations villes-compagnes (E. Domingo, 2007, p.588).

Le Bénin à l'instar des pays en développement connaît une croissance remarquable de sa population. La question du phénomène urbain comme dans les autres grandes villes au sud du Sahara est préoccupante. Dès lors, on note l'absence quasi-totale des politiques en matière de gestion des centres urbains occupation du sol, gestion des déchets, des eaux usées, des services collectifs, etc., ce qui se traduit par l'insalubrité dans les principales villes problèmes de gestion des déchets ménagères, pollution sonore, atmosphérique, du sol, l'érosion côtière ; l'installation incontrôlée des populations dans les zones inhabitables, impropres ; la prolifération de maladies d'origines diverses ; le reflux des populations vers les périphéries urbaines (J. E. Gnélé, 2010, p.338). Cette concentration humaine, qui atteint des stades avancés et la vulnérabilité des espaces côtiers où convergent de multiples aléas, sont à l'origine d'importantes pressions environnementales ; économiques et sociales. Pour atténuer ces affres environnementales, les autorités doivent doter le pays de plusieurs outils d'aménagement (O. Dossou Guèdègbé, 2005, p.348).

Sur le plan environnemental par exemple, la croissance urbaine exerce une forte pression sur les ressources naturelles et les espaces agricoles. Cette situation se traduit par des changements sensibles, la disparition d'espaces agricoles ou naturels à fort enjeu (A. Jafarou, 2007, p.86). Or, la référence « population environnement et développement » est aujourd'hui indispensable pour appréhender les problèmes du monde actuel dans toute leur complexité.

Le Bénin, à l'instar des autres pays africains, n'est pas resté en marge de ce phénomène de dégradation l'environnement. En effet, les villes béninoises, sont confrontées : à une forte demande de services sociaux et d'infrastructures de base, une pression accrue sur le marché de l'emploi, une spéculation foncière et une dégradation de l'environnement (SEHAU- SA, 1995, p.233). Née, de la division administrative de Grand-Popo, Agoué est l'un des plus grands et plus peuplés arrondissements de la commune de Grand-Popo, Département du Mono. Aujourd'hui elle est en voie de disparition à cause de l'avancer de la mer.

Le présent article analyse la croissance démographique et la dégradation de l'environnement dans la ville d'Agoué au Bénin. Le milieu de recherche est situé entre 6°13' et 6°16' de latitude Nord et 1°37' et 1°46' de longitude EST (figure 1).

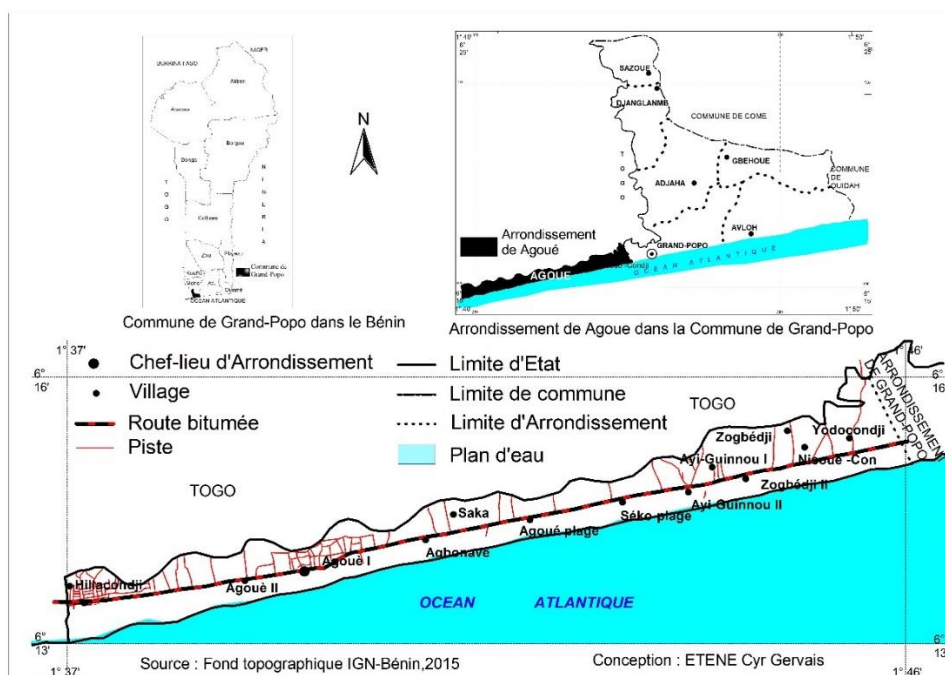


Figure 1 : situation géographique du milieu d'étude

APPROCHE METHODOLOGIQUE

Pour mener à bien cette étude, une approche méthodologique a été utilisée. Elle est constituée de la recherche documentaire, des travaux de terrain à travers l'observation, les enquêtes et entretiens, l'analyse et l'interprétation des données recueillies.

Données collectées

Plusieurs données ont été collectées afin de mieux comprendre la dynamique urbaine et la dégradation de l'environnement dans la ville d'Agoué.

Les données utilisées sont :

- les données climatologiques (hauteurs de pluie) réparties dans la commune sur la période de 1965-2010 ont été collectées à METEO-BENIN. Ces données ont permis d'avoir une information la répartition des pluies à Grand-Popo.
- les données socioéconomiques, des données relatives aux projets de réalisation d'infrastructures sociocommunitaires. Ces données ont été fournies par les autorités administratives et aussi par les autorités locales pour évaluer leurs impacts sur la population du milieu d'étude.
- les statistiques démographiques du secteur d'étude, fournies par les Recensements Généraux de la Population et de l'Habitation (RGPH) de 1979, 1992, 2002, 2013 et la projection démographique de la ville d'Agoué en 2020 obtenues à l'INSAE pour analyser la dynamique démographique de la population. Ces données ont été complétées par les informations générales recueillies sur le terrain

Méthodes de collecte des données du terrain

Les travaux de terrain ont permis de collecter les données sur le terrain.

-Travaux de terrain : Les travaux de terrain ont permis de compléter les données primaires par des informations d'observation directe ou recueillies auprès des autorités communales et d'arrondissement, associations de développement, ONG, Chefs de quartier, ménages

Les outils de collectes utilisés sont le questionnaire, et les guides d'entretiens. Les grands axes du questionnaire portent sur l'identification du secteur d'étude, la détermination des facteurs de la dynamique urbaine, la dégradation de l'environnement, l'identification de lien entre la dynamique urbaine et la dégradation de l'environnement et enfin les propositions de lutte contre la dégradation de l'environnement.

La technique d'observation a permis de s'habituer à une situation spécifique, de manière à comprendre les processus psychologiques et sociaux qui sont à l'œuvre à travers l'immersion (A. D. SINA, 2011, p.84). Ainsi, elle a permis de se documenter sur la localisation du milieu d'étude, de connaître la dynamique urbaine et le mode de dégradation de l'environnement dans la ville d'Agoué.

Cette technique a été complétée par les entretiens et les enquêtes de terrain. Pour bien mener les enquêtes de terrain et les entretiens, la détermination de la taille de l'échantillonnage a été mise à contribution.

-Échantillonnage : Pour déterminer la taille de l'échantillon, recours aux données du Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH-4) de l'INSAE 2013. La formule de Schwarz (1995).

$$N = \frac{z\alpha^2 x PxQ}{d^2}$$

Avec la taille de l'échantillon, $z\alpha = (1,96)$: écart type réduit correspondant à un taux de 95%, p est la proportion des ménages de l'arrondissement, $q=1-p$ et d la précision désirée égale 5%.

Le calcul de la taille de l'échantillon de base de l'arrondissement.

$$N = \frac{1,96^2 x 0,2 x 0,5}{0,05^2}$$

$$N = 152$$

Cet échantillonnage ainsi calculé est pris en compte à hauteur de 20% pour rester dans les limites des moyens permettant de faire efficacement les travaux de terrain. Le tableau I présente les caractéristiques de l'échantillonnage du milieu de recherche.

Tableau I : Caractéristiques de l'échantillonnage

Quartiers de ville	Effectif total des ménages	Effectif total des ménages enquêtés
Agoué I	890	25
Agoué II	743	25
Ayguinou	490	25
Hillacondji	1847	35
Nikoué-Condji	222	20
Zoghédji	259	22
Total	4451	152

Source : Enquête de terrain, Septembre 2020

Au total, 152 personnes ont été enquêtées lors des travaux de terrain. L'échantillonnage a été fait de façon aléatoire dans notre zone étude.

-Méthodes de traitement des données et analyses des résultats

La phase de traitement des données a été consacrée au dépouillement manuel des résultats d'enquête, à leur codification, à l'établissement des documents illustratifs et à l'interprétation des diverses données statistiques. Le logiciel EXCEL 2016 a été utilisé pour la réalisation des figures et des tableaux, le logiciel WORD 2016, quant à lui, a permis de faire la saisie de notre travail.

RESULTATS

Modes d'accès à la terre dans le milieu d'étude

La figure 2 présente les différents modes d'accès à la terre et selon chaque quartier de ville.

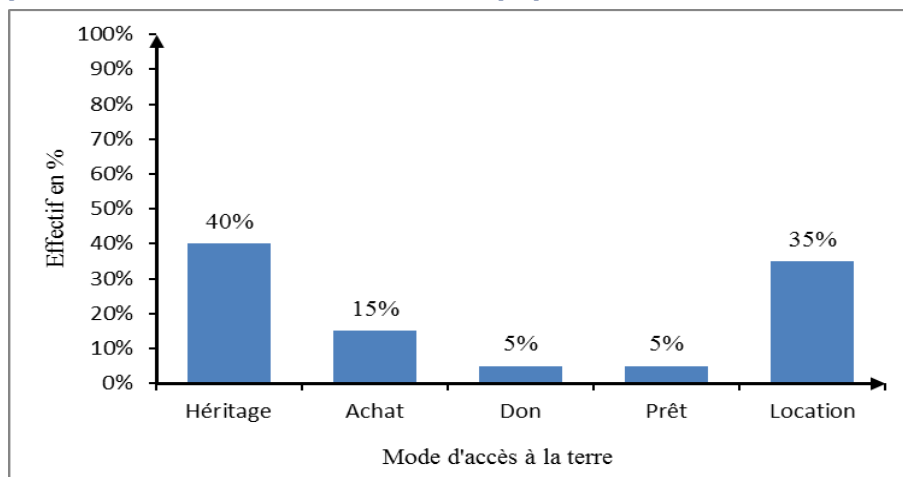


Figure 2 : Mode d'accès à la propriété foncière dans la ville d'Agoué

De l'observation de la figure 2, il ressort que dans la ville d'Agoué les principaux modes d'accès à la propriété foncières sont l'héritage, la location. Leurs taux sont respectivement de 40% et 35%. Quant aux autres modes d'accès à la propriété foncière que sont l'achat le don et le prêt leurs proportions sont respectivement 15%, 5% et 5%. En effet, la terre ayant pris de la valeur, elle n'est plus objet de don. En ce qui concerne le prêt, c'est relatif à la volonté des nouveaux acquéreurs de ne pas laisser les parcelles achetées inoccupées. L'objectif ici étant la sécurisation du bien foncier, le prêt est réalisé entre personnes ayant des liens de parenté, toujours pour éviter des conflits dans le futur.

Facteurs déterminants de la dynamique démographique et de la dégradation de l'environnement à Agoué

Facteurs déterminants de la dynamique démographique : Les infrastructures socio communautaires et économiques sont des facteurs déterminants de la dynamique urbaine.

Implications des infrastructures sociocommunautaires et économiques dans la dynamique démographique -Infrastructures éducatives de la ville d'Agoué

L'éducation est un moyen de donner aux enfants comme aux adultes la possibilité de devenir participants actifs de la transformation des sociétés dans lesquelles ils vivent. Il a été constaté sur l'ensemble de la ville une seule école maternelle, huit écoles primaires et un seul Collège d'Enseignement Général (planche 1).



Planche 1: Aperçu des enseignes du CEG et du cours primaire d'Agoué (Prise de vues : ETENE, Septembre 2020)

La planche 1 illustre l'aperçu des enseignes du CEG et du cours primaire d'Agoué.

La photo 1-1 de la planche montre l'enseigne du CEG d'Agoué. Cette photo montre un début timide de réfection du CEG. La photo 1-2 de la planche montre l'enseigne de l'école primaire d'Agoué qui est dans un état très désolant. Cet état de chose n'encourage pas les enseignants et même les apprenants. Les autorités en charge de l'enseignement et de la mairie sont interpellées.

- Infrastructures sanitaires

La pyramide sanitaire du Bénin comporte trois niveaux : le niveau central ou national ; le niveau intermédiaire ; le niveau périphérique (les zones Sanitaires et subdivisions). Selon cette pyramide les centres de santé communaux dépendent nécessairement des zones sanitaires. La ville d'Agoué ne comporte qu'un centre de santé. La photo 1 illustre l'aperçu du centre de santé de la ville d'Agoué.



Photo 1 : Aperçu du centre de santé de la ville d'Agoué (Prise de vue : ETENE, Septembre 2020)

La photo 1 montre un aperçu du centre de santé de la ville d'Agoué qui représente une structure sanitaire de proximité dispensant des soins de premier recours.

- Infrastructures sécuritaires

L'insécurité grandissante inquiète la population qui ne cesse d'enregistrer tant de cas de vol et de braquage. Pour arrêter cette situation, des sociétés de sécurité sont créées. On reconnaît ces agents par leurs uniformes et leurs emplacements spécifiques devant les maisons, ou les institutions, logés dans de petites cabines construites à l'occasion. L'insécurité constitue un phénomène préoccupant et un danger qui portent sérieusement atteinte à la sûreté et à la qualité de la vie. Sa maîtrise et sa résorption nécessitent le concours de tous les habitants de la ville d'Agoué (autorités politiques et administratives, administrés et société civile). La photo 2 illustre l'aperçu du commissariat d'Agoué.



Photo 2 : Aperçu du commissariat d'arrondissement d'Agoué (Prise de vue : ETENE, Septembre 2020)

La photo 2 montre un aperçu du commissariat de la ville d'Agoué. Cette structure représente le symbole de la sécurité publique. Les agents participent à la protection des personnes et des biens.

-Infrastructures marchandes

Dans les villes d'Afrique intertropicale, les marchés sont des équipements nécessaires pour le développement des quartiers. Le milieu de recherche bénéficie d'importants réseaux d'échanges commerciaux qui sont au préalable les témoins de l'urbanisation. Les marchés participent aux échanges des produits de tout genre et facilitent l'installation humaine. Le principal marché de la ville d'Agoué est le marché de Hillacondji.

Le marché de Hillacondji situé dans l'arrondissement d'Agoué, commune de Grand-Popo dans le département de Mono sur la côte du Golfe de Guinée, Hillacondji est un poste frontalier. Dans le marché toutes sortes de biens y sont échangées par des vendeurs. Les marchandises importées, des produits ou services destinés à l'exportation, de la nourriture et des boissons à des agents commerciaux. La commercialisation des produits maraîchers se fait directement par le producteur, soit sur son exploitation, soit sur les points de regroupement. Le marché de Hillacondji assure aux populations autant de produits de première nécessité que de produits manufacturés. Ainsi, ces principaux lieux d'échanges jouent le rôle de diffuseurs des produits manufacturés et autres services aux communes/localités environnantes. Aussi leur présence renforcent les liens patrimoniaux et fixent les populations. La photo 3 illustre l'aperçu du marché de Hillacondji.



Photo 3 : Aperçu du marché de Hillacondji (Prise de vue: ETENE, Septembre 2020)

La photo montre un aperçu du marché de Hillacondji. On y retrouve les produits de tout genre qui assurent aux populations, le nécessaire pour la subsistance et pour les différents besoins de la vie.

En somme, l'implantation des infrastructures implique l'installation des acteurs qui sont des usagers de ces écoles, de centres de santé, le commissariat et le marché à Agoué ce qui favorisent l'achat des parcelles, construction et développement des autres services connexes.

Densité de la population de l'arrondissement d'Agoué

La figure 3 illustre l'évolution de la densité de la population de l'arrondissement d'Agoué de 1979 à 2013.

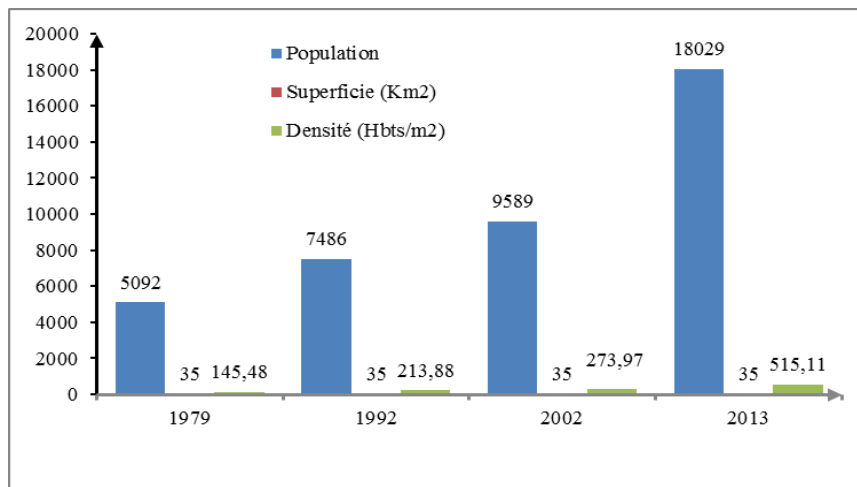


Figure 3: Evolution de la densité de la population de l'arrondissement d'Agoué de 1979 à 2013

Il est à constater que la population d'Agoué comptait 5092 habitants en 1979 avec une superficie de 35km² et une densité de 145,48 hbts/km². En 1992 une population de 7486 habitants avec une superficie de 35km² et une densité de 213,88 hbts/km². En 2002 une population de 9589 habitants avec une superficie de 35km² et une densité de 273,97 hbts/km². En 2013 la ville a connu une croissance de 18029 habitants avec une superficie de 35km² et une densité de 515,11 hbts/km². Il ressort que l'arrondissement d'Agoué de la période de 1979 en 2013 n'a pas connu une évolution de la superficie habitable. En revanche, la densité (hbts/km²) connaît une évolution proportionnelle au nombre d'habitants pas année. Cette évolution s'est plus accéléré en 2013 vue le nombre d'habitants.

Proximité de la frontière de Hillacondji dans la ville d'Agoué

L'espace transfrontalier compris entre le Bénin et le Togo fait partie des « périphéries nationales » ouest africaines où existent de grandes possibilités d'échanges commerciaux entre pays voisins. Ces périphéries nationales sont marquées également par de fortes solidarités entre les populations frontalières. Elles impliquent donc l'existence d'un espace économique et social autonome qui se développe. Le dynamisme de l'économie informelle à partir de l'intensité des relations et des échanges commerciaux renforce la formation des marchés relais ou de redistribution. Ces éléments sont favorables à la naissance et au développement de la ville. La frontière joue un rôle d'interface. Elle crée le lien spatial et l'identité collective des populations de l'espace transfrontalier. Elle permet aussi de montrer un enjeu multi scalaire en impliquant une multiplicité d'acteurs. Il est à signaler également le mouvement pendulaire. 80 % personnes font le déplacement quotidien entre le centre et la périphérie urbaine vers la frontière pour leurs différentes activités. La proximité de la frontière constitue un principal facteur qui détermine la dynamique urbaine dans la ville d'Agoué.

Incidences de l'installation des infrastructures socio communautaires et économiques sur l'environnement

Destruction du couvert végétal : La destruction du couvert végétal constitue un problème majeur que rencontre la ville d'Agoué. En effet, il n'existe presque plus dans la zone côtière, certaines essences forestières telles que *Xanthoxylum xanthoxyloides*, *Adansonia digitata* (baobab), *Borassus aethiopum* (rônier), *Mitragyna inermis* et *ceiba pentandra* (fromager) ces essences sont en voie de disparition due à l'urbanisation. Dans la mangrove (zones lagunaires et marécageuses) quelques espèces telles que *Philoxerus vermicularis*, *Sesuvium portulacastrum* connaissent une régression extinctive faute d'eau douce en permanence. Alors que ces végétations jouent d'importantes fonctions. Il s'agit de : fonctions chlorophyllienne, d'anti-pollution et photosynthèse. En consommant le gaz carbonique de l'air, l'arbre fabrique sa propre matière et rejette l'oxygène. Selon Genin et Plantineau cité par Gnélé (2010), un hectare de forêt dégage par an le volume d'oxygène nécessaire à la respiration d'un homme pendant 25ans. Quant aux feuilles, elles retiennent à leur surface les poussières et autres particules. Les feuilles assainissent l'air ambiant par la rétention de micro-organisme mêlé aux poussières. Elles sont ainsi capables d'absorber et d'utiliser certains polluants gazeux (monoxyde de carbone, dioxyde d'azote)

Erosion des terres : Les côtes béninoises sont le siège d'un important transit de sable d'ouest vers l'est. Ce transit est estimé en moyenne à 1.200.000 m³ par an. Aussi, les conditions hydro-sédimentaires et humaines soumettent à certains endroits et depuis des années le littoral béninois à une forte érosion. Parmi les zones les plus vulnérables au phénomène on a : la zone frontière avec le Togo (de Hillacondji à Agoué), la ville de Grand-Popo, l'embouchure du fleuve Mono et de la zone de la crique située à l'Est

de Cotonou (CEDA, 2007 et MEHU/MAETUR/OTD, 2005). Parlant d'Agoué, en particulier, l'acuité du phénomène se justifie par diverses raisons dont : l'agriculture intensive, la déforestation sont des causes majeurs de la dégradation des terres due à l'érosion, qui rend de vastes régions vulnérables à la perte de la couche arable fertile du sol. A ces principales causes, vient s'ajouter l'action des vagues, les tempêtes côtières, le vent, la concentration des eaux de ruissellement.

Pollution du milieu : Selon 90% des personnes enquêtées, la ville d'Agoué ne dispose pas d'infrastructures d'hygiène et d'assainissement. Car la ville d'Agoué n'a pas une véritable politique d'hygiène et d'assainissement, d'où la conséquence de cet état de chose est caractérisée par les ordures ménagères mal gérées avec l'inexistence des sites de décharges et de traitement. En effet, il n'existe aucun lieu de décharge réservé et contrôlé par la mairie. Les ordures ménagères et eaux usées produites sont jetées un peu partout dans le centre urbain. Ainsi le problème de collecte et d'évacuation des ordures ménagères se posent à deux niveaux

- au niveau des ménages urbains, le non conditionnement des ordures (absence de poubelles) ou leur mauvais conditionnement (poubelle de mauvaise qualité)
- au niveau des quartiers, il existe plusieurs dépotoirs dans la ville d'Agoué notamment à Agoué II au niveau de la plage et à Hillacondji, ceux-ci jouxtant avec les concessions (planche 2).

La planche 2 illustre les dépotoirs sauvages à Agoué II (photo 4) et à Hillacondji (photo 5).



Planche 2: Dépotoir sauvage à Agoué II et Hillacondji (*Prise de vues : ETENE, Septembre 2020*)

La photo 4 de la planche 2 montre un amas d'ordures dans la bande de sable au niveau de la plage et la photo 5 de la même planche montre un mélange d'herbes et d'ordures au quartier Adjovi à Hillacondji. Cet état de chose empêche les populations de respirer l'air pur et les expose à des risques de maladies.

Sur les plans sanitaires, d'hygiène et d'assainissement de base : La prise de conscience des autorités locales par rapport au grand retard de développement de la ville a permis l'application de quelques orientations relatives à la santé. Ainsi il est à noter, l'amélioration de la couverture sanitaire de la ville, les infrastructures d'aisances sont insuffisants car 70% de la population déféquent dans la nature et dans les cours d'eau. Il est à noter que peu de latrines privées sont vides car la majorité préfère des latrines rationnelles qui ne nécessitent pas trop de frais.

CONCLUSION

L'étude de la dynamique démographique et de la dégradation de l'environnement dans la ville d'Agoué a permis de retracer le rythme de la croissance démographique et l'importance de l'action humaine dans la dégradation des ressources naturelles. Elle a permis de mettre en évidence les effets de détérioration de l'environnement par l'homme sans toutefois parvenir à régler les problèmes de survie des populations. Il est à noter le problème de collecte et d'évacuation des ordures ménagères se posent à deux niveaux à savoir, au niveau des ménages urbains, le non conditionnement des ordures (absence de poubelles) ou leur mauvais conditionnement (poubelle de mauvaise qualité) et au niveau des quartiers, il existe plusieurs dépotoirs dans la ville d'Agoué notamment à Agoué II au niveau de la plage et à Hillacondji, ceux-ci jouxtant avec les concessions.

Références

- [1] ABDOULAYE Djafarou (2007) : Dynamique d'un espace péri-urbain : cas de l'arrondissement de Togba dans la commune d'Abomey-calavi, 86p.
- [2] SEHAU- SA (1995) : Revue permanente du secteur urbain au Bénin, p.233.
- [3] DOSSOU GUEDEGBE Odile (2005) : Contribution de l'évaluation environnementale stratégique (EES) à l'aménagement du territoire : cas du plan directeur d'aménagement du plateau d'Abomey-calavi (République du Bénin). Thèse de doctorat unique, Abomey-Calavi, Bénin, 348p.
- [4] DOMINGO Etienne (2007) : La région urbaine du littoral au Bénin : dynamique urbanisante et environnement, une géographie de l'aménagement du territoire. Thèse de doctorat d'Etat de géographie, Université Lomé du Togo, 588p.
- [5] GNELE Edegard. Josué. (2010) : Dynamique de planification urbaine et perspective de développement durable à Cotonou, République du Bénin, Thèse de doctorat en géographie et gestion de l'environnement, thèse de doctorat unique en géographie et gestion de l'environnement, EDP, FLASH, UAC, 338p.
- [6] KOTO Tamou (2009) : Etude des impacts potentiels de la gestion des boues de vidange sur l'environnement et la santé de la municipalité de Parakou, 22p.
- [7] Vigninou Toussaint (2010) : La périurbanisation de Porto Novo : dynamique et impacts environnementaux. Thèse unique de doctorat en géographie, Université d'Abomey-Calavi, FLASH, Département de géographie, 370p.

Facteurs biophysiques et techniques de production de bananes dans l'arrondissement de kpanroun (commune d'Abomey-Calavi) au Bénin

Abdoulaye Djafarou¹, Yessoufou Ahoudou Waliou², Sedjame Rufine Ablawacyr³

¹-Université d'Abomey-Calavi, Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Laboratoire de Biogéographie et Expertise Environnementale (LABEE),

²-Université Nationale d'Agriculture, Ecole d'Agrobusiness et de Politiques Agricoles (EAPA), Laboratoire d'Economie Rurale et Sciences Sociales pour le Développement Durable (LERSSoDD),

³-Université d'Abomey-Calavi, Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED), Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE),

Résumé :

Le bananier est avant tout une plante alimentaire. Grâce à la succession végétative, une bananeraie subsiste pendant des dizaines d'années, comme l'orange ; c'est l'un des fruits les plus vulgaires au Bénin et fortement consommés par la population ; sa présence permanente sur le marché de la consommation augmente considérablement la possibilité d'accès aux fruits et par voie de conséquence réduit tant soit peu certaines carences nutritionnelles ; la banane est très riche en glucide.

La démarche méthodologique utilisée a consisté à collecter les données à savoir les données pédologiques pour connaître les types de sol propices à la production de la banane plantain ; les données socio-anthropologiques issues des enquêtes de terrain afin de pouvoir connaître les différents systèmes de production. Les données collectées ont été traitées et analysées.

Le résultat obtenu montre que les facteurs biophysiques constituent des atouts au développement de la production de la banane dans le milieu de recherche. Cependant, la non-maîtrise des techniques culturales. De plus, 82 % des producteurs du plantain cultivent des terres héritées de leurs ancêtres. Tandis que 16 % des producteurs du plantain exploitent des terres achetées. Les terres sont également empruntées par 2 % des producteurs. Plusieurs techniques culturales sont utilisées notamment, les techniques traditionnelles et les techniques modernes sont utilisées par les producteurs de banane.

Mots clés : Kpanroun, Bénin, facteurs biophysiques, production, bananes

Biophysical and technical factors of banana production in the district of kpanroun (municipality of Abomey-Calavi) in Benin

Abstract:

The banana tree is above all a food plant. Thanks to vegetative succession, a banana plantation survives for tens of years, like an orange; it is one of the most common fruits in Benin and highly consumed by the population; its permanent presence on the consumer market considerably increases the possibility of access to fruit and consequently reduces some nutritional deficiencies; bananas are very high in carbohydrates. The methodological approach used consisted in collecting data, namely soil data to determine the types of soil suitable for plantain production; socio-anthropological data from field surveys in order to know the different production systems. The data collected was processed and analyzed. The result obtained shows that biophysical factors constitute assets for the development of banana production in the research environment. However, the lack of mastery of cultivation techniques. In addition, 82% of plantain producers cultivate land inherited from their ancestors. While 16% of plantain producers exploit purchased land. Land is also borrowed by 2% of producers. Several cultivation techniques are used in particular, traditional techniques and modern techniques are used by banana producers.

Key words: Kpanroun, Benin, biophysical factors, production, bananas.

¹ Corresponding author: djaf_2006@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'agriculture occupe une place importante dans la plupart des pays en développement surtout ceux au Sud du Sahara (FAO, 2005). La politique agricole repose essentiellement sur la diversification des cultures agricoles afin d'assurer une autosuffisance alimentaire au niveau local et national (Houndji, 2009). Malgré cette politique de diversification, l'agriculture béninoise reste dominée par les cultures vivrières. Ainsi, dans la commune d'Abomey-Calavi, le maïs (52 %), le manioc (28 %), l'arachide (7 %), le niébé (5 %) et la patate douce (4 %) sont les principales cultures (Biaou, 2006). A côté de ces spéculations phares, les cultures maraîchères et des plantations d'arbres fruitiers se développent pour satisfaire les besoins des centres urbains (INSAE, 2004). Ainsi, la culture d'arbres fruitiers apporte des moyens de subsistance aux agriculteurs et participe également à l'accroissement de l'économie locale et nationale. Au nombre des espèces fruitières cultivées figure la banane.

Les bananes plantains sont produites dans les zones tropicales et leur rôle est très significatif dans l'économie de plusieurs pays en développement. Elles contribuent à la sécurité alimentaire et constituent une source d'emploi et de revenu de millions de personnes dans une large part du monde en développement (FAO, 2004). Elles constituent une filière très importante après le riz, le blé et le maïs (Lokossou et Rachidatou, 2005). A Pedro (1999) d'ajouter que, la banane plantain est le fruit le plus exporté au monde en volume et en valeur (7 milliards de dollars). Elle est la principale source d'énergie quotidienne pouvant combler les insuffisances nutritionnelles (Klotz et Gau, 2002). De même, elle occupe le premier rang de la culture des fruits avec cent six millions de tonnes produites annuellement. Elle rend la nourriture plus appétissante et facilite la digestion (Lescot, 2006). Sa consommation est donc très importante pour la santé humaine. Elle peut être prise crue, transformée, bouillie, grillée, fruitée ou pilée, elle intervient dans les desserts, les repas et comme amuse - gueule (Lokossou et Rachidatou, 2005).

L'objectif de cet article est d'analyser les facteurs biophysiques et techniques de production de bananes dans l'arrondissement de Kparoun au Bénin.

Le milieu de recherche est situé entre 6° 36' et 6° 39' de latitude nord et 2° 18' et entre 2° 24' de longitude est avec une superficie de 41,27 km² (figure 1).

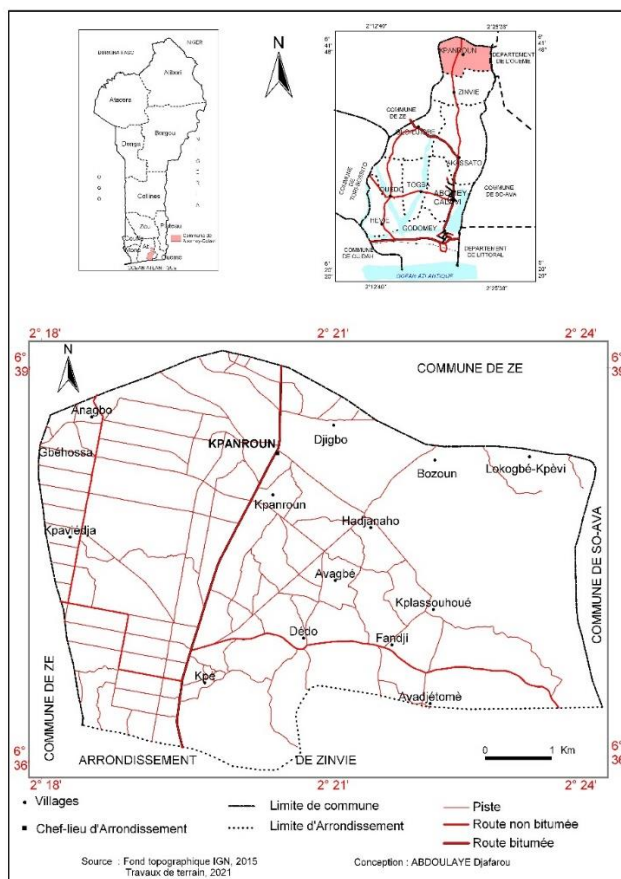


Figure 1 : Situation géographique du milieu de recherche

APPROCHE METHODOLOGIQUE

Données utilisées

Les données pédologiques pour connaître les types de sol propices à la production de la banane plantain ; les données socio-anthropologiques issues des enquêtes de terrain afin de pouvoir connaître les différents systèmes de production, les techniques de cultures adoptées par les producteurs et les contraintes à la production de la banane plantain dans cette commune. Les différentes données ont été collectées suite à des travaux de terrain.

Travaux de terrain

L'enquête a permis d'administrer des questionnaires à la population (Agriculteurs, ou producteurs commerçants, fonctionnaires, etc.), les chefs du village, chefs d'arrondissement, des entretiens avec ces catégories de personnes ont aidé à harmoniser les différents points de vue sur les questions relatives à la production et commercialisation de banane dans l'arrondissement de Kpanroun. Les travaux de terrain ont été faits en milieu réel par l'observation direct des faits et l'interrogation des groupes cibles grâce à la détermination d'un échantillonnage.

Echantillonnage : L'échantillonnage est déterminé par le choix raisonné en tenant compte de l'effectif de la population agricole de la commune de Kpanroun. De plus, quelques critères ont été pris en compte dans le choix des personnes enquêtées à savoir :

- être âgé de 30 ans au moins ceci pour recueillir des informations sur les modes de productions ;
- être un producteur de banane dans la localité de recherche ;
- résider dans la localité tout au moins ces 10 dernières années afin de pouvoir bien décrire la situation réelle de la Commune en matière de production de banane plantain ;

L'échantillon est choisi de façon aléatoire dans le cadre de cette recherche. Soit $T = m \times f$ avec T = taille de l'échantillon, m = effectif des ménages agricoles, f = Taux de sondage fixé à 5 % selon Chauvat et Reau (1985). D'après le RGPH 3, de l'arrondissement de Kpanroun, la population active représente 44,7 % soit $39\,481 \times 44,7 / 100 = 17\,648$ habitants. Dans cette population active les agriculteurs représentent 21 % (soit ménages agricoles $\times 100 /$ population total de ménage agricole). $M = 17\,648 \times 21 / 100 = 3706,08$ avec $f = 5 \%$, donc $t = 3706,08 \times 5 / 100 = 185$. $T = 185$ agriculteurs. Le tableau I montre le nombre de ménage enquêté dans le cadre de cette recherche.

Tableau I : Effectif des producteurs de la banane dans l'arrondissement de Kpanroun.

Arrondissements	Villages parcourus	Ménages agricoles	Nombre de producteurs enquêté
Kpanroun	-Anagbo	47	10
	-Gbéhossa	34	10
	-Kpaviédja	185	15
	-Kpé	15	55
	-Avagbé	38	5
	-Bozoum	15	10
	-Fandji	49	80

Source : Enquête de terrain février 2020

Au total, 185 chefs de ménages producteurs de bananes ont été enquêtés dans le cadre de cette recherche. Plusieurs techniques et outils ont contribué à la collecte des données.

Techniques et outils de collecte des données : Plusieurs techniques ont été utilisées pour la collecte des données à savoir, le focus group avec les producteurs de la banane plantain ce qui a permis de prendre les différentes opinions des producteurs ; la méthode participative, elle a consisté à une observation directe des données de terrain couplée de quelques questions de compréhension. Elle a permis de confronter les pratiques avec les discours entre le vécu et les déclarations des personnes interrogées notamment les producteurs. La photo 1 illustre une séance de focus group à Kpaviédja.



Photo 6 : Séance de focus group à Kpaviédja **Prise de vue :** H. Dossa, Octobre, 2020

Pour mieux appréhender les conditions de travail des producteurs, des entretiens avec les producteurs ont été faits. Cette photo contient des paysans assis sous une paillote. Chaque producteur donne son point de vue sur les fondements de production de banane ainsi que les contraintes. Les outils utilisés dans ce cadre sont le guide d'entretien qui contient les points clés de l'entretien

avec les groupes cibles. Il a facilité les interviews avec les groupes cibles le questionnaire adressé aux paysans comportant les facteurs biophysiques et humains, les contraintes et les stratégies développées ; le GPS (Global Positioning System) ayant servi à la prise des coordonnées géographiques du secteur d'étude et l'appareil photo pour les prises de vues.

Traitement des données

Des données recueillies sur le terrain ont été dépouillées manuellement. Ces informations recueillies et ont fait l'objet d'une codification. La codification a permis de synthétiser dans le tableur Excel 2010, pour les courbes, les graphiques et les tableaux. De plus, le logiciel ArcView 3.2 est utilisé pour la réalisation de la carte de situation et les différentes cartes thématiques. En ce qui concerne les informations qualitatives, il a été question de faire un recoupement des différents points de vue issus des entretiens. Leur confrontation avec les informations quantitatives a édifié les analyses. Pour ce faire, les valeurs telles que la moyenne, la variance, l'écart-type ont été utilisées.

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques biophysiques de l'arrondissement de Kpanroun

Le milieu de recherche est caractérisé par un climat subéquatorial marqué par deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. Une grande saison pluvieuse (avril à juillet) suivie d'une petite saison sèche (juillet à Août) et une petite saison pluvieuse (septembre à novembre) avec une grande saison sèche (décembre à mars) comme l'illustre la figure 2.

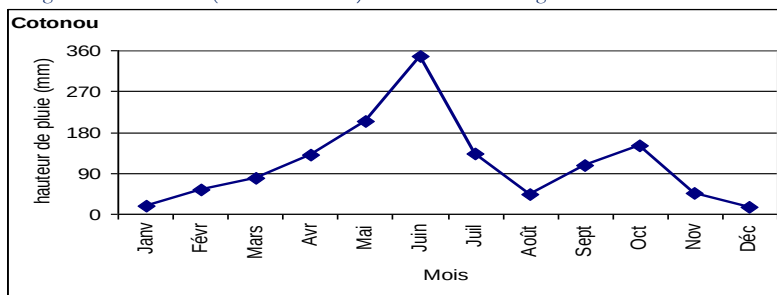


Figure 2 : Régime des hauteurs de pluie du milieu de recherche

Il est à noter que ces saisons permettent les activités agricoles et la culture de banane dans le milieu de recherche. La figure 3 présente une carte pédologique de l'arrondissement de Kpanroun.

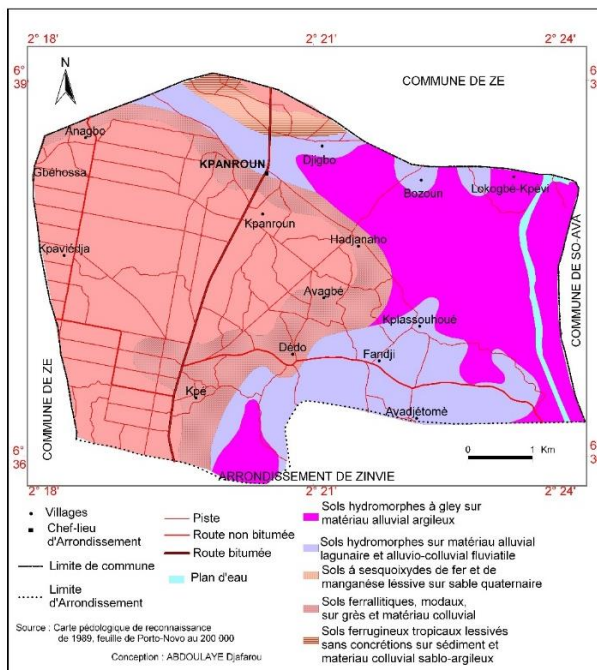


Figure 3 : Formation pédologique de l'arrondissement de Kpanroun

De l'observation de la figure 3, il est à retenir :

- Les sols ferrallitiques tropicaux très dégradés qui sont des formations du continental terminal typique du grand ensemble du plateau de terre dans l'arrondissement de Kpanroun. Ils sont de type sablo-argilo limoneux, assez équilibré dans leur texture et tolèrent la culture de la papaye solo et d'un grand nombre de spéculation végétale ;
- Les sols hydromorphes très inondables. Ces sols ne favorisent pas la culture du papayer car il meurt vite quand ses racines sont longtemps trempées dans de l'eau.

Le relief de la localité est peu accidenté ce qui freine la force de l'érosion. Ce relief est caractérisé par un plateau de terre de barre facile à travailler car il favorise l'infiltration des eaux de pluie. Il permet également la culture de la papaye solo qui est sensible à la stagnation de l'eau.

Le milieu d'étude dispose d'un réseau hydrographique constitué essentiellement le long de sa limite est par la rivière Sô qui draine les eaux de Vouin dans la partie nord du secteur par le Zounvo, un des ruisseaux renforçant la rivière Sô qui se jette dans l'Océan Atlantique par le lac Nokoué. Au centre de la zone d'étude, il y a un autre ruisseau qui s'écoule à travers les marécages de Kpotomè dont plusieurs villages sont riverains. Il se jette dans la rivière Sô avec un bras qui sépare le village lacustre de Gbodjè et avec celui de Yèvié (Akango, 2007).

Ce réseau hydrographique permet de combler les déficits en eau du papayer par arrosage car ce dernier a besoin d'une pluviométrie de 1500 à 2000 mm pour sa survie (CIRAD et GRET, 2002) car la moyenne pluviométrique annuelle de la zone d'étude est de 1200 mm, dont 700 à 800 mm pour la grande saison pluvieuse et 400 à 500 mm pour la petite saison pluvieuse (par Amontcha, 2011). La figure 4 présente la carte de réseau hydrographique de l'arrondissement de Kpanroun.

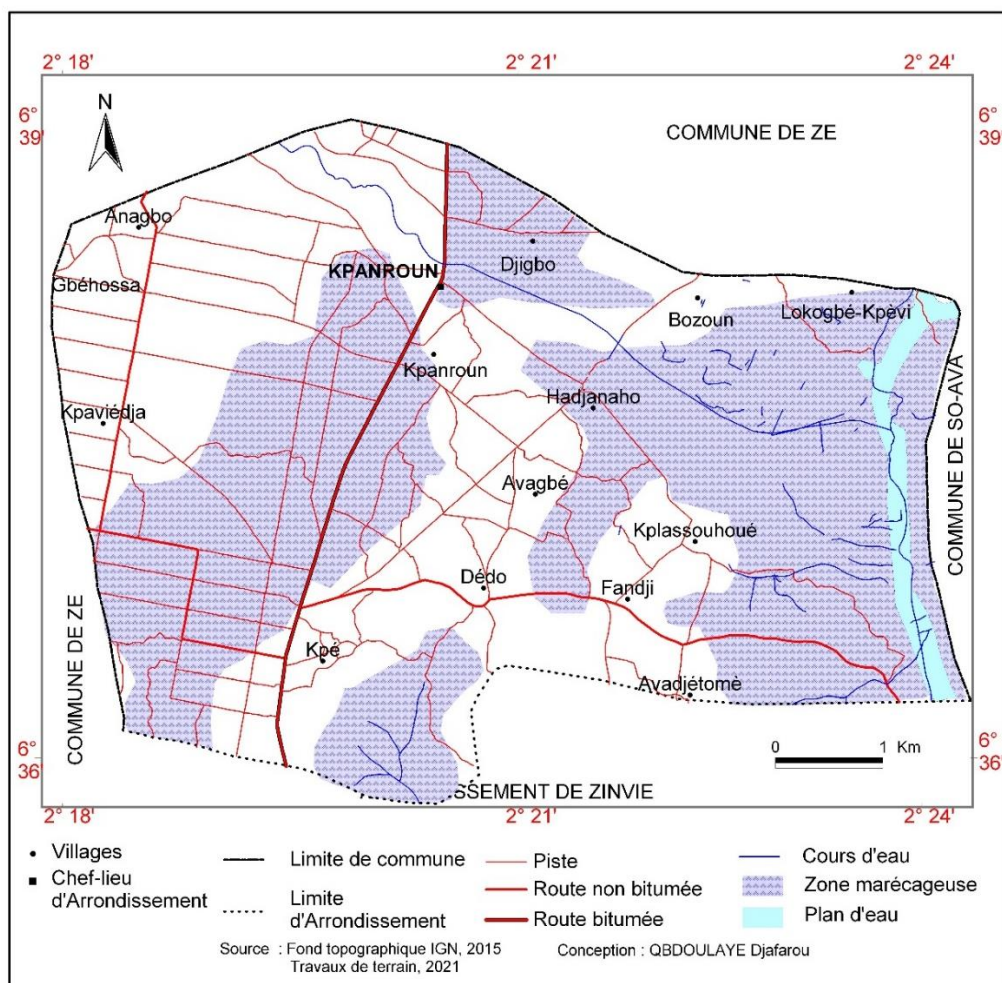


Figure 4 : Réseau hydrographique de l'arrondissement de Kpanroun

Il est important de rappeler l'écologie de bananes. Le tableau II présente l'écologie de bananes

Tableau II : Écologie de bananes

Facteurs écologiques	Valeurs optimales
Température	26 – 30 °C
Pluviométrie annuelle	1500 – 2000 mm
Type de sol	Sablo-limoneux, léger, humifère, meuble, aéré et bien drainé

Source : enquêtes du terrain février, 2021

Il ressort de l'analyse du tableau II que les bananes ont des exigences en eau (1500-2000 mm) d'une part et en température (26-30°C) et en PH du sol (6-7) d'autre part pour leur développement.

Après avoir rappelé l'écologie de bananes, il est important de rappeler les modes d'accès à la terre et les techniques de production de bananes.

Modes d'accès à la terre

La terre est l'un des principaux facteurs de production en agriculture. Il existe trois principaux modes d'accès à la terre que sont l'héritage, l'achat, l'emprunt dans l'arrondissement de Kpanrounn. La figure 5 présente la répartition des producteurs du plantain dans l'arrondissement de Kpanrounn selon le mode d'accès à la terre.

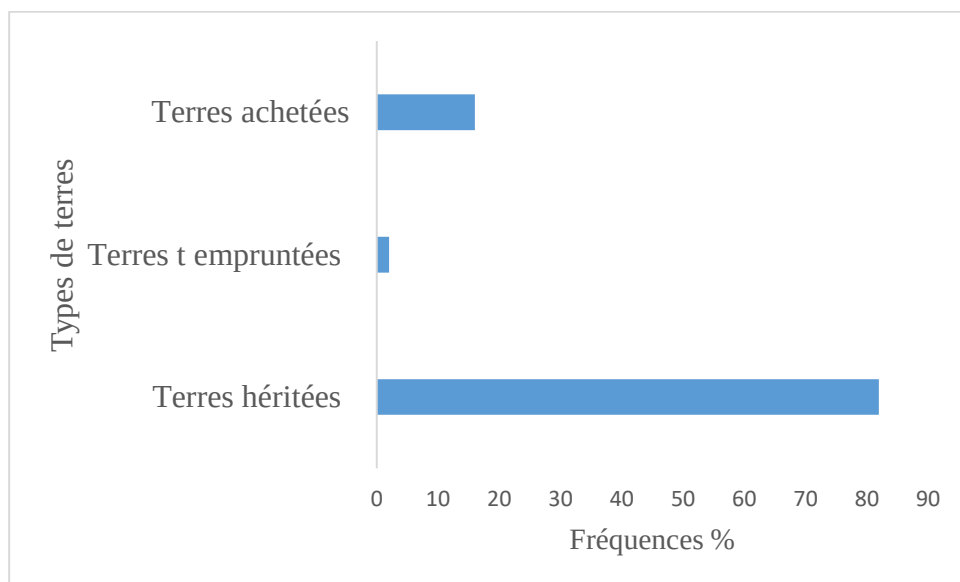


Figure 5 : répartition des producteurs du plantain dans la Commune selon le mode d'accès à la terre

L'analyse de la figure 5 révèle que 82 % des producteurs du banane cultivent des terres héritées de leurs ancêtres. Tandis que 16 % des producteurs du plantain exploitent des terres achetées. Les terres sont également empruntées par 2 % des producteurs. L'héritage et l'achat constituent un facteur de production car l'exploitant propriétaire et héritier disposent des garanties qui déterminent leur motivation à investir et à mettre en application des mesures de gestion durable des sols et de leurs fertilités selon 90 % des personnes enquêtées sur le terrain.

Techniques de production de bananes

Les différentes techniques de production de bananes sont :

- Plantation de la banane : Selon les informations reçues sur le terrain, les producteurs s'approvisionnent des types de bananes au Ghana (55 % des enquêtés), en Côte-d'Ivoire (30 %) et à Cotonou (7 %). Seul 8 % des interviewés prennent les plantules chez les voisins. Pour faire la pépinière de la banane, les paysans achètent les sachets de polyéthylène qu'ils remplissent de terreau. Ceux-ci sont perforés à l'aide d'un petit clou pour laisser l'eau s'infiltrer afin d'éviter l'asphyxie des racines. Ils sont déposés dans un endroit sûr et arrosés deux ou trois fois avant de mettre les pieds dans chacun d'eux après avoir fait un petit trou dans le terreau à l'aide d'un outil et arroser 2 à 3 fois par semaine.

-Préparation du terrain et mise en terre des plantules : Procéder à un défrichage intégral, suivi de l'abattage, du dessouchage des arbres et du nettoyage complet du champ. Pour les plantations de forte densité, procéder ensuite à un labour manuel ou mécanique de la parcelle. Quant aux plantations de faible densité, ils procèdent directement au piquetage et à la trouaison (en forme de cubes). Le piquetage consiste à matérialiser par des piquets ou des jalons l'emplacement futur de chaque plant, afin de respecter les densités de plantation, d'utiliser la capacité maximale du sol et de faciliter l'entretien, (C. Akango, 2012, p.13).

Semence : Le grand problème auquel les planteurs de Kpanroun sont confrontés est le non disponibilité de rejets sains et performants pour l'extension de nouvelles plantations. La planche 1 présente quelques techniques de plantation des bananes chez les producteurs à Kpé.



Planche 1 : quelques techniques de plantation des bananes chez les producteurs à Kpé. *Prise de vue : Z. C. AKODE, 2020*

La planche 1 illustre les étapes de la plantation de banane plantain de la trouaison jusqu'au rebouchage. Après le labour à plat et le piquetage, des trous de dimensions 40 cm x 40 cm x 40cm sont creusés. La trouaison se fait au moins deux semaines avant la plantation. Cette méthode permet de désinfecter naturellement le trou. L'oeilleton est arraché soigneusement du plan mère et déposé dans le trou préalablement préparé au compost.

L'entretien se fait un mois après la plantation, 100g de NPK (10 20 20), soit une petite boîte de tomate bien remplie, sont apportés par plant. Le 2^{ème} apport de NPK c'est-à-dire 200g, plant soit 2 petites boîtes de tomate, intervient trois mois après. Le sarclage se fait au besoin. Six mois après la plantation, 200g, plant de KCl sont apportés.

Quant à l'effeuillage, Il consiste à couper les vieilles feuilles et leurs gaines qui pendent le long du pseudo tronc ; ainsi que les feuilles vertes attaquées, tout en conservant 6 à 8 feuilles fonctionnelles sur le plant. La coupe des feuilles infectées est une technique de lutte culturale utilisée pour baisser la pression parasitaire dans la bananeraie. Cette opération se pratique uniquement en période de pluie.

Quant au paillage, il se réalise en saison sèche, il consiste à apporter des débris végétaux au pied du bananier. Cette technique permet de réduire l'évaporation, de protéger le sol contre les intempéries, l'érosion du sol, de limiter l'enherbement et d'apporter de la matière organique. Dès le début de la saison des pluies, le paillis est retiré afin d'éviter le développement des microorganismes nuisibles aux plants.

Techniques culturales

Plusieurs catégories de techniques culturales sont utilisées notamment, les techniques traditionnelles et les techniques modernes. Dans l'arrondissement de Kpanroun, seules les techniques traditionnelles sont développées. Ils se résument au sarclage, à la monoculture et l'association culturale. Ainsi, il a été remarqué dans le milieu de recherche trois types de d'exploitants. Il s'agit des exploitants moyens, petits et grands exploitants. La figure 6 présente quelques types exploitants du milieu de recherche.

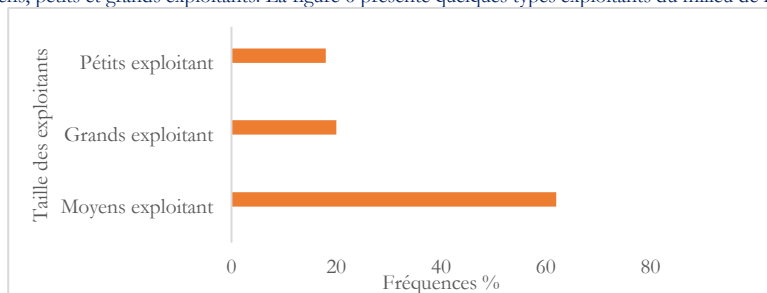


Figure 6 : quelques types d'exploitants dans l'arrondissement de Kpanroun.

De l'analyse de la figure 6, il ressort que 62 % représentent les moyens exploitants contre 18 % des petits exploitants et 20 % des grands exploitants.

Le sarclage est surtout appliqué sur les sols peu profond et fertile. Il permet de réguler l'aération du sol, d'ameublir le sol et une bonne pénétration de l'eau. Il se fait en deux étapes : avant la plantation et tous les deux ou trois mois en jeune plantation. Avant la plantation, le sarclage est pratiqué car le bananier ne supporte pas l'enherbement. Il se pratique tous les deux ou trois mois car les débris végétaux sont utilisés pour limiter l'enherbement, protéger le sol contre la sécheresse, l'érosion et apporte de la matière organique dès novembre (Lokossou et Sikirou, 2013). Dans l'arrondissement de Kpanroun ; le sarclage est une technique qui contribue au développement du bananier et est pratiqué par plus de 80 % des producteurs.

Monoculture, Association culturale : La monoculture et l'association culturale font partie des techniques agricole dans l'arrondissement de Kpanroun. La monoculture qui consiste à cultiver une seule culture sur une parcelle permet au sol de garder sa fertilité mais elle est pratiquée par peu de producteur de la banane (9 %). La photo 2 présente un champ de case de banane à Kpaviédja dans l'arrondissement de Kpanroun.



Photo 2 : une plantation de case de banane à Kpaviédja **Prise de vue :** D. ABDOULAYE, Janvier, 2021

L'association culturale permet de semer plusieurs cultures sur une même parcelle. Cependant 72 % de ces producteurs associent d'autre culture et pratiquent aussi l'élevage. Les déchets de ces animaux sont utilisés comme fertilisant de sol pour la production de la banane plantain. L'association culturale de type bananier légumineux comme le niébé, papayer, palmier à huile, cocotier. La photo 3 présente une association de culture.



Photo 3 : Association culturale de quatre types **Prise de vue :** D. ABDOULAYE, Janvier, 2021

De l'observation de la photo 3, il ressort que l'association culturale et la monoculture ont pour avantage de maximiser la production, de réduire le développement anarchique des herbes et de permettre au sol de garder sa fertilité selon les enquêtes de terrain. Malgré ces facteurs la culture de la banane connaît certaines contraintes.

Les mains d'œuvre agricoles méritent d'être présentées.

Mains d'œuvre agricole

Dans l'arrondissement de Kpanroun, trois formes de mains d'œuvre sont identifiées. Il s'agit de la main d'œuvre familiale, de la main d'œuvre salariée et de groupe d'entraide.

Main d'œuvre familiale et groupes d'entraides : La main d'œuvre familiale (90 %) est plus observée dans les petites exploitations (moins d'un demi-hectare). Les membres d'un même ménage participent aux activités de production de bananes. Le chef de ménage bénéficie de l'aide de ces enfants et de ses épouses. En outre, dans le cas des moyennes et grandes exploitations, le producteur fait recours à la main d'œuvre salariée et les groupes d'entraide.

Les groupes d'entraides (50 %) constituent une véritable force de travail. Ils favorisent la cohésion entre les paysans et leur permet d'emblaver un nombre important de superficie. Les activités champêtres réalisées sont programmées en fonction des saisons culturales, de l'aménagement du trou de plantation et les travaux d'entretien. Elles se font de façons rotatives afin que toutes les exploitations des membres du groupe soient labourées. Ces deux différents types de mains d'œuvre représentent un facteur de développement de la filière dans l'arrondissement car ils sont rapides et moins coûteux. En cas d'insuffisance de ces différentes sources de main d'œuvre, les paysans font recours à la main d'œuvre salariée selon les enquêtes de terrain.

Main d'œuvre salariée : Elle est pratiquée par 35 % des producteurs en raison de la scolarisation des jeunes. En effet, le calendrier de la production de la banane plantain coïncide parfois avec celui scolaire. Ce qui fait que les jeunes scolarisés ne peuvent aider leurs parents que les week-ends. Dans l'arrondissement de Kpanroun ; la main d'œuvre salariée pour la production de la banane varie entre 1500 F CFA et 2000 F CFA par jour selon les enquêtes de terrain. Ce qui représente un atout pour le développement de la filière dans le milieu de recherche.

CONCLUSION

Malgré son importance économique incontestable, la production de la banane plantain dans la commune de Kpanroun ne s'accroît pas comme cela se devait bien que le milieu soit favorable à la production de cette culture. La présente recherche est une contribution à l'étude de la production de la banane plantain dans le milieu de recherche. Il faut noter que l'arrondissement de Kpanroun jouit de quatre saisons climatiques. Deux saisons pluvieuses (mars à juillet et Août à novembre) et deux saisons sèches (novembre à mars et juillet août). Le relief de cet arrondissement est monotone à plat, érodé par endroit et marqué de dépression. Les sols sont argileux, argilo-hydro morphes noir, sablo-argileux ou argilo sableux très propice pour la culture de la banane. La croissance démographique de l'arrondissement favorise la disponibilité de la main-d'œuvre. Les groupes d'entraides (50 %) constituent une véritable force de travail. Ils favorisent la cohésion entre les paysans et leur permet d'emblaver un nombre important de superficie. Les activités champêtres réalisées sont programmées en fonction des saisons culturales, de l'aménagement du trou de plantation et les travaux d'entretien.

Références

- [1] BIAOU C. F. (2006) : Monographie de la commune d'Abomey-Calavi. Afrique Conseil. 72 p.
- [2] FAO (2004) : Economie mondiale de la banane: Etude FAO sur les produits de base. Rapport 1985-2002. 40 p.
- [3] FAO (2005) : Prévention des pertes après récolte : fruits, légumes, racines et tubercules. Manuel de formation, 183 p.
- [4] HOUNJLI S. H. (2009) : Production et commercialisation des agrumes dans la commune de Za-Kpota. Mémoire de maîtrise/FLASH/UAC, 94 p.
- [5] INSAE (2004) : Cahier des villages et quartiers de ville, Département de l'Atlantique. 34 p.
- [6] KLOTZ S. GAU D. (2002) : L'engraissement du porc charcutier à base de banane verte. CIRADEMVT Montpellier (FKA), 33 p.
- [7] LESCOT T. (2006) : La banane en chiffres. Le fruit préféré de la planète. Fruitrop. N°140. 5 p.
- [8] LOKOSSOU B. RACHIDATOU S. (2005) : Comment mieux produire la banane plantain. Référentiel technico-économique de la production agricole. (INRAB), pp.33-53.
- [9] PEDRO J. (1999) : Production bananière au Bénin. Rapport multigraphié INRAB, 32 p.

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (vi) – Issue 4 – December 2021

Water-Agriculture-Climate'2021



Climate Change, Water, Agriculture: What Strategies?

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

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

Production, processing and marketing of oil palm (*Elaeis Guineensis*) derivatives in the district of attogon (Municipality of Allada)

Tchaou Ahognisso Gabin¹

¹ Laboratory of Urban and Regional Dynamics Studies (LEDUE) FASHS/UAC

Abstract

The processing and marketing of oil palm products are of paramount importance both socially and economically. This research contributes to a better understanding of the production, processing and marketing system of oil palm products in Attogon.

The methodology adopted is based on data collection, processing and analysis of results using the SWOT model. A sample of 95 households was the target of investigation.

The analysis of the results shows that the processing of oil palm derivatives is gainful. For instance, for an investment of 5,500 CFA francs for the production of 25 liter can of palm oil, women processors make an average profit of 6,500 CFA francs. Likewise, an average investment of 4,600FCFA gives an average profit of 9,300FCFA on the production of 10liter of palm kernel oil. As for the manufacture of baskets, brooms, racks and cake, the processors invest nothing to obtain the raw material. The average profit they make on the sale of a product varies between 50 and 200 FCFA.

But despite this economic advantage, the actors are confronted with difficulties to make the sector more vivid.

Key Words: Attogon, oil palm, derivatives, processing, marketing

Production, transformation et commercialisation des dérivés du palmier à huile (*Elaeis Guineensis*) dans le district d'attogon (Municipalité d'Allada)

Résumé

La transformation et la commercialisation des produits du palmier à huile sont d'une importance capitale tant sur le plan social qu'économique. Cette recherche contribue à une meilleure compréhension du système de production, de transformation et de commercialisation des produits du palmier à huile à Attogon.

La méthodologie adoptée repose sur la collecte de données, le traitement et l'analyse des résultats à l'aide du modèle SWOT. Un échantillon de 95 ménages a été la cible de l'enquête.

L'analyse des résultats montre que la transformation des dérivés du palmier à huile est rémunératrice. Par exemple, pour un investissement de 5 500 FCFA pour la production d'un bidon de 25 litres d'huile de palme, les femmes transformatrices réalisent un bénéfice moyen de 6 500 FCFA. De même, un investissement moyen de 4 600 FCFA donne un profit moyen de 9 300 FCFA sur la production de 10 litres d'huile de palmiste. Quant à la fabrication des paniers, des balais, des claies et des gâteaux, les transformateurs n'investissent rien pour obtenir la matière première. Le profit moyen qu'ils réalisent sur la vente d'un produit varie entre 50 et 200 FCFA.

Mais malgré cet avantage économique, les acteurs sont confrontés à des difficultés pour rendre le secteur plus vivant.

Mots Cles : Attogon, palmier à huile, dérivés, transformation, commercialisation

¹ Corresponding author gtchaou@gmail.com

INTRODUCTION

Benin's cash crops play an important role in external trade (Eniayehou, 1993, p. 24). One of the cash crops that has long contributed to the growth of the Beninese economy is the oil palm (*Elaëis guineensis* Jacq.). Exports from the former Dahomey were based on this crop, whose products represented about 70% of the tonnage and 65% of the value of total exports between 1959 and 1969 (Dissou, 1988 cited by Sissinto, 2000, p. 21).

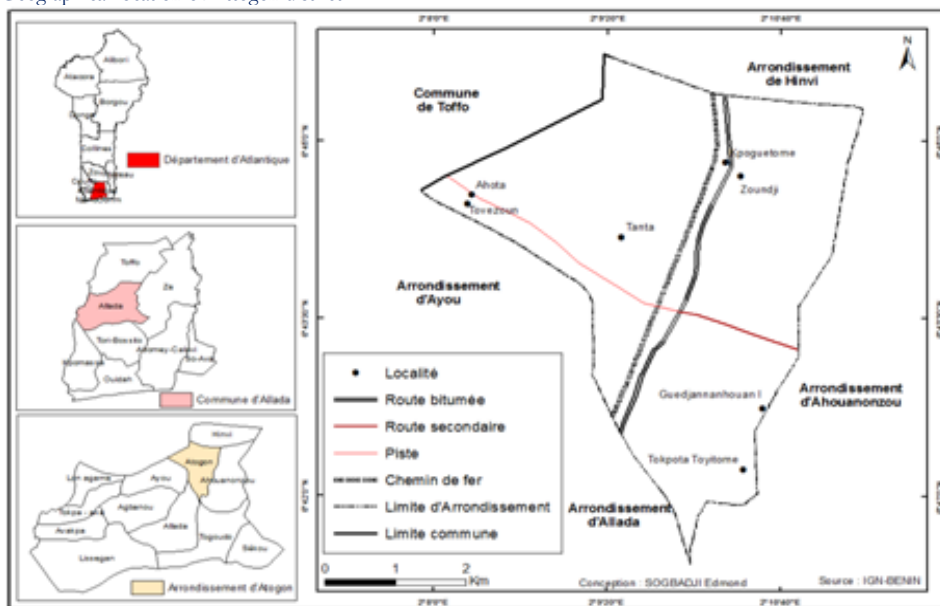
Palm products play an important role in the economic, social and religious activities of the population in southern Benin (Fatoumbi, 2006, p17). These oil palm products account for up to 40% of the value of exports and form a large part of the population's needs (Lokossou, 2012, p19). The products and by-products derived from oil palm that are commonly used by the population in Benin are numerous (Fournier et al., quoted by Odjo 2009, p38). These include palm oil, palm kernel oil, palm kernel cake (for livestock feed), palm nut shell (for fuel), palm pulp cake (for fuel), leaves (for roofing, fences, brooms), the palm trunk (poles and beams) and the sap which gives palm wine that is consumed directly or transformed into local alcohol, sodabi (Gbayi, K. P, 2002, p 39).

All these products derived from oil palm are produced much more in the south of Benin, more precisely in the departments of Mono-Couffo, Ouémé-Plateau, Atlantique-Littoral (Lokossou, 2012, p 31). The processing and marketing of oil palm products are important as they help stakeholders socially and economically. It should be noted that the palm tree has an important socio-economic value that needs to be assessed. Owing to this, it seemed interesting to analyze the socio-economic effect of oil palm and its derivatives. The biophysical and human factors are favourable to the production and marketing of oil palm products in Attogon. The marketing of oil palm by-products has a socio-economic impact on the actors in the district.

MATERIALS AND METHODS

General presentation of the district of Attogon: Located in the municipality of Allada, the district of Attogon is situated between 6°41'14" and 6°46'01" north latitude and 2°7'45" and 2°10'40" east longitude. It is bordered to the north by Hinvi district, to the northwest by Toffo commune, to the south by Allada district, to the east by Ahouanonzoun district and to the west by Ayou district (figure 1).

Figure 1: Geographical location of Attogon district



Methodological approach: The methodology adopted in this work can be summarized as data collection, data processing and analysis of the results.

Data collection: In order to analyze the production and marketing system of oil palm derivatives in Attogon district, several data are used.

Data used: Both quantitative and qualitative data are used in this research. They include demographic data, income from the production and marketing of oil palm products at the level of the stakeholders. The qualitative data include the quality of the products marketed and the quality of the market and transport infrastructure.

Data collection techniques: The techniques used for data collection are essentially documentary research, field surveys, direct observations and interviews.

- **Documentary research:** This consisted in consulting the existing documents on oil palm products, on certain aspects related to the processing and marketing of derivatives. This allows to have an idea of the work already done on the subject.

- **Field surveys:** These surveys were carried out in the field through direct observations, interviews and questionnaire surveys of the sampled households.

- **Direct observations:** Direct observations were made during the entire field survey period. They allowed us to learn about the different processing and marketing techniques for oil palm products in Attogon and to take pictures so as to illustrate the work.

- **Interviews:** The interviews were conducted with people identified and selected from the sample according to their degree of involvement in the processing and marketing of oil palm products. These were local elected officials and leaders of farmers' organizations. These interviews were conducted using interview guides.

- **Surveys by questionnaire:** These were carried out with processors, traders in oil palm by-products and heads of households using questionnaires on various aspects of processing, trade in oil palm by-products and income from these products, and on the various constraints encountered by the various actors in carrying out their activities. These investigations are carried out by determining a sample and selecting the villages visited.

- **Sampling:** To conduct this research, target groups were identified and a sample defined. The three (03) villages of Attogon District were taken into account. The technique of reasoned choice was applied. The choice of respondents was made according to the following criteria:

- ✓ Living in Attogon district
- ✓ be the head of a household
- ✓ be oil palm producers
- ✓ be a processor of oil palm products or a trader in oil palm derivatives.

The sample is determined by the Schwartz (1995) formula, which is as follows:

$$N = Z\alpha^2 (PQ/d^2)$$

N = Sample size per village

Z α = deviation set at 1.96 which corresponds to a confidence level of 95%.

P = number of village households / number of households in the district according to INSAE 2013

Q = 1- P

d = margin of error which is equal to 5%.

Thus, the following numerical application was observed in the village of Attogon centre:

$$Z\alpha^2 = (1,96)^2 = 3,841$$

$$P = 1087/1843 = 0,59$$

$$Q = 1-p = 0,41$$

$$d^2 = (5\%)^2 = 0,0025$$

$$N = 371,65$$

This result is scaled down to 15% due to the resources available for the surveys. This makes: $371,65 \times 0,15 = 55,74$; that is 56 respondents. The same formula is applied to the villages of Niaouli I and Niaouli II. Thus, for Niaouli I, there are 17 households and for Niaouli II, there are 22 households respectively surveyed. This gives a total of 95 households interviewed (Table I).

Table I: Sample size of villages and respondents (Source: Survey results, December 2019)

District	Villages surveyed	Number of households	Number of households surveyed
Attogon	Attogon centre	1087	56
	Niaouli I	334	17
	Niaouli II	422	22
	Total	1843	95

It results from Table I that three (03) villages were visited to survey a total of 95 households. Thus, various tools and materials were used so as to facilitate the collection of information in the field and to achieve the objectives.

- **Data processing:** The processing of data and information mainly involved the numbering and tabulation of the survey forms, interview guides and observation grids. The questionnaires were opened and processed manually. Some data were presented in the form of tables or graphs using Excel 2010 software. Text input was done using Word 2010. The cartographic processing was done with Arc view software. All this made it easier to explain the information in a consistent way.

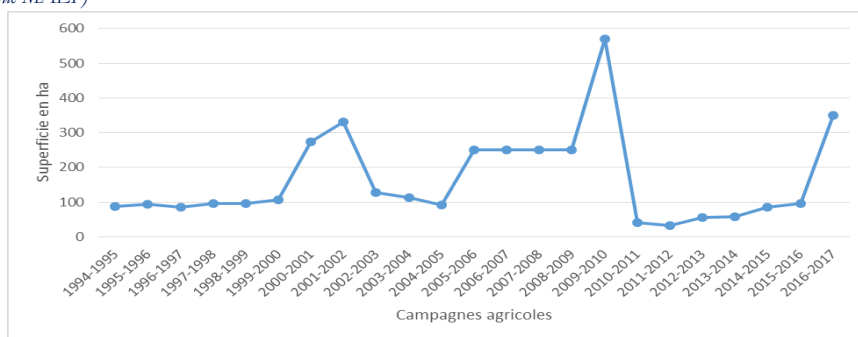
RESULTS

The results are analyzed using the SWOT model (Strengths - Weaknesses - Opportunities - Threats). This model is used to analyze, on the one hand, the strengths and opportunities of the study environment and, on the other hand, the weaknesses and threats related to the development of oil palm processing and marketing activities. This method integrates internal and external factors that interact with each other to enable an integrated analysis of the strengths and weaknesses of the environment.

Production of oil palm in Attogon: The practice of oil palm cultivation offers the population of Attogon district many paid jobs. The specific nature of these jobs leads us to distinguish between direct and indirect jobs. Direct jobs are those that are directly related to the product from the production of the raw material to the finished product. These jobs are perceived through different activities. According to their specificities, they are practiced by men for cultivation and by women for processing. This confirms the distribution of activities by gender in rural areas. Indirect jobs are only the consequences of direct jobs, especially in the case of processing. They are related to the manufacture of certain objects (baskets, sickles). The manufacture of all these materials is the work of blacksmiths, welders and carpenters. This analysis shows that oil palm cultivation indirectly creates opportunities for the craft industry.

Evolution of oil palm production: Oil palm is the main cash crop in the municipality of Allada in general and the district of Attogon in particular. Figure 2 shows the evolution of the area planted to palm from 1994 to 2017.

Figure 2: Evolution of new areas under palm cultivation in the municipality of Allada from 1994 to 2017 (Source : CeRPA Atlantique, service statistique MAEP)



A reading of the palm area curve shows that the area under this crop tripled in 2002 (332 ha) compared to 1995 (88 ha). From 2004 to 2010, this area increased six (06) times more, from 91 ha in 2004 to 571 ha in 2010, as the curve shows. The fall in the curve in 2012 shows that new land is hardly available for new plans, due to the occupation of previously vacant spaces. For the respondents, it is land conflicts that hinder the production of this perennial crop.

Oil palm is a monoecious crop, meaning that the same tree bears both male and female flowers. Each tree produces compact clusters of fruit weighing between 10 and 25 kilograms and each containing between 1000 and 3000 young fruits. The fruits are spherical or elongated in shape. The young fruit is usually dark purple, almost black, and becomes orange-red when ripe. It consists of a hard core (seed) enclosed in a shell (endocarp) which is surrounded by a fleshy mesocarp. Palms can grow to over 20 meters in height. The trunks of young and mature trees are wrapped in leaves that give them a rough appearance. Older trees have smoother trunks, but bear the scars left by withered and fallen leaves. The oil palm begins to bear fruit 30 months after planting and remains productive for 20 to 30 years, ensuring a steady supply of oil. Plate 1 shows a palm grove and a palm nut diet in Niaouli I.



Plate 1: Palm grove of an oil palm producer in Niaouli I and palm nut diet (Shot: Sogbadji, December 2019)

On Plate 1, Photo1-1 shows a palm grove in Niaouli I. It is the set of palm groves that provide the different raw materials used for the production of the different derivatives from the palm tree. The most widely produced product from the palm tree in Attogon is palm oil, which is produced from the palm nut diet (photo 2-2). This picture shows palm nut diet. Through this diet, producers obtain palm oil, palm kernel oil and other derivatives that enable them to enlist financial resources.

Production system for oil palm derivatives in Attogon: Several products are derived from the processing of oil palm in Attogon. The oil palm by-products identified during the fieldwork are: palm oil, palm kernel oil, the local alcohol 'Sodabi' produced from palm wine, baskets, brooms, racks and palm cakes. The processing of palm nuts into palm oil in Attogon is done in the traditional way. This technique adopted by the processors takes about four to five days. A barrel of prepared palm nuts yields about 1.5 cans of 25-litre, or about 38 liters of red oil. Thus, 73% of respondents are involved in the processing of palm nuts into palm oil in Attogon.

Production of red palm oil: In Attogon district, the palm tree is grown largely for its seeds, which are used to produce palm oil. The oil does not only come from the sauce; it can also be produced traditionally by cooking the seeds in a pot or large barrel (Plate 2). This traditional process produces red oil for cooking and other purposes.



Plate 2: Traditional cooking of palm oil in Attogon (Shot: Sogbadji, December 2019)

Production of palm kernel oil: The traditional processing of palm nuts into palm kernel oil is an activity reserved exclusively for women. Indeed, 100% of our respondents are women producing this oil. There is only one traditional processing procedure. The processors here have only rudimentary means at their disposal. In this case, the extraction is done by cooking the almond paste at a temperature of around 100°C and the women processors do not even have a traditional press. They crush the prepared nuts in mortars or tubs and knead them to obtain the almond paste. With these rudimentary means, the processing time varies from three days to a week and even longer when uncrushed palm nuts are used.

2-3-3-Production of local alcohol "Sodabi": Trees are first uprooted for the production of local alcohol or Sodabi. It is generally the old palm trees (more than 10 years old on average) that are stumped by the sodabi manufacturers. Once the palm tree has been stumped, the branches are removed, a hole is made in the heart of the palm tree, and a receptacle (calabash/can, etc.) is drilled into the hole at the bottom. Through this hole the tree releases a succulent beverage called "Attan" (palm wine) collected at the bottom through the hole in the perforated part. Photo 1 shows the production of palm wine.



Photo 1: Extraction of palm wine (Shot: Sogbadji, December 2019)

Photo 1 shows the extraction of palm wine. This technique consists first in digging up the palm tree, removing the branches and then placing a canister just at the top where the hole is created to collect the wine directly.

Marketing of oil palm derivatives in Attogon: As palm is a cash crop, 99% of all oil palm by-products are intended for the market. The sale of these products follows an internal distribution chain within the district and an external one in the various local, regional and national markets.

Oil palm by-products distribution chain in Attogon: In Attogon, oil palm by-products follow two chains: the internal and the external ones. The internal chain is developed because Attogon market is functional and comes alive every five days. Producers and processors deliver their products to local traders and those who arrive from elsewhere. As for the external chain, it is also developed and serves as a relay for the sale of oil palm by-products to national markets such as Sékou, Bohicon and Dantokpa markets in Cotonou, through the wholesale and semi-wholesale traders.

Actors involved in the marketing of oil palm derivatives in Attogon: The marketing of oil palm by-products calls up several economic actors. These are producers, processors, wholesalers, retailers, transporters and consumers. The consumer market is composed of two types of consumers: direct consumers and indirect consumers.

Direct consumers are people who use the by-products such as palm oil in the kitchen for their daily diet, Sodabi, etc. Indirect consumers are those who use them for things other than their own food. They are the processors of soap (which is sometimes made from palm kernel oil), the sellers of fried fish and fritters, and the traditional healers. The group of indirect consumers is the most important consumer group, especially for palm oil and palm kernel oil because of the refined oils used by the majority of households. These are also the households that use dry branches as fuel, wood for cooking and fresh branches as brooms.

Producers: They are the key players in the marketing of oil palm products. They are all the owners of oil palm plantations in the district. They represent around 6% of the actors. The producer with the smallest area of oil palm plantation has half a hectare (1/2 ha) of plantation. The largest producer in the district has ten hectares (10 ha). According to the producers, the average monthly income from 1 ha of oil palm is one hundred thousand (100.000F) CFA francs. This shows that palm is a very profitable perennial crop.

Processors: They ensure the largest part of the marketing of products. They represent 11% of the actors. In fact, they are often in partnership with semi-wholesalers and wholesalers. Some of them produce on orders made by wholesalers. This exempts them from transport costs to the markets. For palm oil, for example (the most widely produced by-product), wholesalers often go to the production sites with vehicles (tarpaulins) to transport the oil, which is already in 25 liter cans. During the investigations, it was learned that the prices offered by the wholesalers most of the time take into account the transport costs. Nevertheless, the processors find this method profitable, because if they had to transport the oils to the markets themselves, it would be less profitable for them. This is in contrast to the processors of palm kernel oil, grid oil, cake oil and basket oil, who prefer to go to the market because it is more profitable for them to do so than to sell it at home.

Semi-wholesale traders and wholesalers: These are a group of women who carry out commercial activities in urban areas. They themselves go to the processors in the villages to buy large quantities of the palm oil produced by the latter. They represent 2% of the actors. They have tacit partnership agreements with the processors. In fact, in order to secure the source of supply, they prepay processors for the purchase of raw materials necessary for their processing activities, notably palm nuts from the producers. These are usually prepayments for the oil cans to be produced by the processors. In return, the latter deliver the products of their processing to the customers who have become the wholesale resellers. Their outlets are essentially soap processors, fried fish resellers, retail traders and rarely direct consumers. The latter lead them to sell the oil in small quantities.

Retailers: This is a category of actors whose role is quite decisive. They constitute the medium between wholesalers, producers and consumers. They represent about 20% of the actors and obtain their supplies from wholesalers and then proceed with retail sales. They can be found in all markets and their daily turnover varies between 3,500 f and 7,500 CFAF; they are the main organizers of the distribution markets. They often make the products available to consumers by splitting them up according to the demand.

Transporters: This category of actors can be described as associated or related actors in the marketing of palm derivatives. They represent 1% of the actors and play the role of facilitator in marketing by ensuring the transport of products from the production sites to the various marketing markets. They fall into two categories: transporters by motorbike and by car.

Motorbike transporters (taxi-moto), commonly known as 'zémidjian', are quite numerous and are employed by 90% of local wholesalers and retailers to transport their products from the places of purchase to the places of distribution. The vehicles used are Bajaj, Jencheng and other motorbikes. Their daily turnover depends on the number of kilometers travelled with the goods. Car transport consists of 404 tarpaulin vehicles and 504 cars (9 seats) and is used by about 10% of local wholesalers or those from surrounding areas.

Consumers: Consumers are one of the most important links in the marketing chain of oil palm derivatives. They represent more than 60% of the actors. Without them, the sector would be almost non-existent. They represent the entire population of Attogon district and the populations of other areas where the products processed in the district are marketed. They belong to all ages and all social strata.

Socio-economic effects of the processing and marketing of oil palm products in Attogon

The rural economy of Attogon district is dominated by agriculture. However, it seems appropriate here to appreciate the choice made by rural populations for the cultivation of oil palm, which has a socio-economic impact on the management of the population's daily life. The profitability of the production and marketing of oil palm by-products in Attogon district is divided into two categories: profitability of processing and profitability of marketing.

Profitability of processing oil palm by-products: For some women, processing is the only source of liquid income. Table II shows the average investment cost and profit margin in processing oil palm products.

Table 2: Presentation of a transformer operating account (Source: Survey results, December 2019)

Oil palm derivatives	Average investment	Average selling price	Average realised profit
1 x 25 L can of palm oil	5500 F	12.000 F	6.500 F
10 L of palm kernel oil	4.600 F	13.900 F	9.300 F
20 L of Sodabi	5000 F	12.000F	7000 F
1 medium basket	0 F	50 ou 200 F	150 ou 200 F
1 broom	0 F	50 F	50 F
1 rack	0 F	200 F	200 F
1 crab	0 F	50 F	50 F

The analysis of Table II shows that the processing of oil palm derivatives is gainful. Thus, for an investment of 5,500 CFAF for the production of 25 liter cans of palm oil, processors make an average profit of 6,500 CFAF. Likewise, an average investment of 4,600 CFAF yields an average profit of 9,300 CFAF on the production of 10 liters of palm kernel oil. As for the manufacture of baskets, brooms, racks and cakes, the processors invest nothing to obtain the raw material. The average profit made by them on the sale of a product varies between 50 and 200 FCFA. Thus, per market day, they claim to make profits varying between 2500 and 5000 FCFA. This makes the processors want to be part of this sector of activity.

Profitability of marketing: Ninety-eight percent (98%) of the oil palm by-product traders we met in the study area are women. According to them, this activity is very gainful. Table IV shows the average purchase price and profit margin achieved by the palm oil resellers in Attogon.

Table 3: Average purchase price and profit margin realized by the resellers of palm derivatives in Attogon during the production season (Source: Survey results, December 2019)

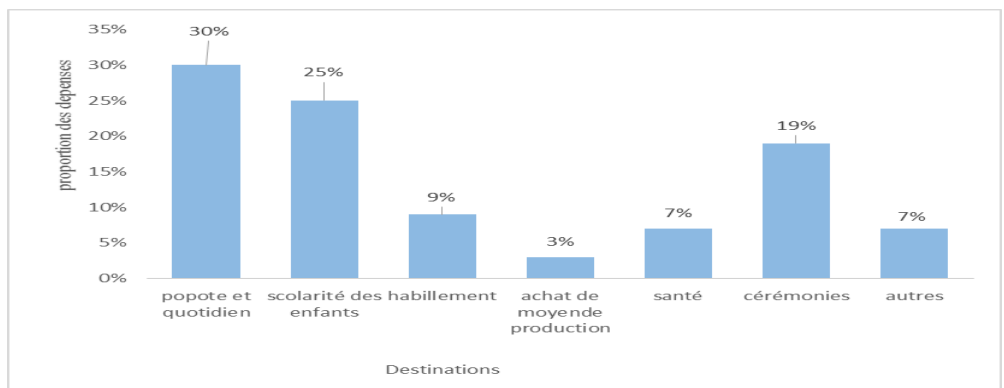
Oil palm derivatives	Average investment	Average selling price	Average realised profit
1 x 25 L can of palm oil	12.000 F	17.000 F	5000 F
10 L of palm kernel oil	13.900 F	20.000 F	6.100 F
20 L of Sodabi	12.000F	18.000 F	6000 F
1 medium basket	150 ou 200 F	250 -300 F	100 F
1 broom	50 F	100 F	50 F
1 rack	200 F	500 F	300 F
1 crab	50 F	100 F	50 F

The analysis of this table shows that the trade in oil palm derivatives is gainful. For example, a retailer of the local drink 'Sodabi' makes an average profit of 6,000 CFAF on the sale of 20 liters. As for palm oil and palm kernel oil traders, they make a profit of 5,000 CFAF and 6,100 CFAF respectively after the sale of a 25 liter can of palm oil for one and 10 liters of palm kernel oil for the other. The sale of other products such as baskets, racks, brooms and cakes is also profitable.

The profits made by the various actors involved in the production and marketing of oil palm products in Attogon District are used for various purposes.

Destination of incomes: The processing of oil palm products is an important source of income for the actors involved. The profits made by the latter enable them to meet several needs (Figure 3).

Figure 3: Destinations of profits from oil palm derivatives (Source: Survey results, December 2019)



The analysis of Figure 3 shows the importance of family maintenance, with 30% of income going to food and daily expenses. Children's schooling also plays a significant role in these expenses. It consumes 25% of the income, especially as parents are nowadays more interested in the future of their offspring. The organization of ceremonies consumes 19% of income, while

clothing, the purchase of means of production and the family's health take up 9%, 3% and 7% of income respectively. The remaining 7% of income is intended for other purposes such as various protective sacking or savings made by the actors. The production and marketing of oil palm derivatives remain profitable activities in Attogon district in terms of the profits they generate for the stakeholders. However, despite this advantage, stakeholders face difficulties in carrying out their activities.

Suggestions

Based on the above observations, the following suggestions are made to public authorities and private agricultural institutions. Thus, for a harmonious development of the national economy, the agro-industrial sector has a significant role to play. Indeed, an effort to revitalize and support the traditional processing sectors is necessary.

In view of the constraints to production and marketing mentioned above, it is important that measures be taken to ensure the smooth running of production and marketing of oil palm derivatives in the district of Attogon in the commune of Allada. Thus, it is necessary, among other things, to create an active cell within agricultural institutions whose main objective will be to provide support and direct advice to traditional processing units; to facilitate the granting of credit to production units by financial institutions; to create a palm nut and palm kernel collection body with a substantial storage facility; to create a quality control system for the oils produced; and to organize the actors into cooperatives.

CONCLUSION

At the end of this research on the production and marketing of oil palm by-products in the Attogon district in the commune of Allada, it should be noted that the oil palm by-products identified in the Attogon district are: palm oil, palm kernel oil, the local drink "Sodabi" made from palm wine, baskets, broomsticks, racks and palm cake.

The analysis of the results shows that the processing of oil palm derivatives is gainful. For example, for an investment of 5,500 francs for the production of 25 liter cans of palm oil, women processors make an average profit of 6,500f. Likewise, an average investment of 4,600 francs yields an average profit of 9,300 francs for the production of 10 liters of palm kernel oil. As for the manufacture of baskets, brooms, racks and cakes, the processors invest nothing to obtain the raw material. The average profit made by them on the sale of a product varies between 50 F and 200 F. Thus, per market day, they claim to make profits varying between 2,500 and 5,000 F. Consequently, the processing of oil palm derivatives in Attogon district is gainful. This makes the processors be part of this sector of activity. But despite this economic advantage, the actors are confronted with difficulties in the line of their activities, to which solutions have been proposed in order to further boost the sector.

References

- [1] Aïounou T.P., 1993, Palm and alcohol in Mono: economic constraints or neglected potential: Prospects for the revalorization of a lost breeding heritage. Publication, CARDER-Mono (Benin), 120p.
- [2] Dissolved M., 1988, Economics of oil palm cultivation in Benin and Ivory-Cost, Les New African Editions (NEA)
- [3] Eniayehou B. A., 993, palm products in the municipality of Avrankou: characterization, marketing and perspective (south-east of Benin), Mémoire de maîtrise de géographie, DGAT/FLASH, UAC, 73p.
- [4] Fatoumbi A., 2006, Production and marketing of oil palm products in the districts of Adja-Ouèrè and Ikpinlè. Master's thesis in geography, DGAT/ FLASH, UAC, 87p.
- [5] Gbayi Kossi, P., 2002, Poverty, comparative study of peasant strategies for surving and for welfare reseach: case of Lisségazoun and Sey-Avisa village in the Atlantique Department, publication, FSA, UAC, 146p.
- [6] INSAE (2013), General Census of Population and Housing, Village Notebook, 87p
- [7] Lokossou, C., 2012, Analysis of artisanal technology of sodabi production: Definition of optimal conditions. GBA thesis, EPAC/ UAC, 88p.
- [8] Odjo, O.E., 2009, Oil palm cultivation in the Commune of Ifangni: socio-economic and environmental impacts. Master's thesis in geography, DGAT/FLASH, UAC, 97p.
- [9] Sissinto, E.V.S. Study of the water consumption of five palm oil crosses (*Elaëis guineensis* Jacq). Thesis, FSA/UNB, 110p.
- [10] Tehoua L., Datte, Y. J., Offoumi, A.M., 2011, Chronic alcoholisation of rats (*Ratus norvegicus*) of wistar strain to a traditional brandy produced in Ivory Coast (Koutoukou): tournal of applied bioscience 01/2011 ; 41: 2272-2279 pp.

Status of water resources and Climate change in Maghreb regions (Mauritania, Morocco, Algeria, Tunisia and Libya)

Gaaloul Nouredine¹, Saïed Eslamian², Rim Katlane³

¹ University of Carthage, National Research Institute of Rural Engineering, Water and Forestry, LR 16INRGREF02, LR Valorization of Unconventional Waters, 17 rue Hédi Karray, BP no. 10 Ariana 2080, Tunisia

² Department of Water Engineering, Isfahan University of Technology, Iran

³ GEOMAG (LR19ES07)/PRODIG (UMR 8586), University of Mannouba-Tunis Campus Universities B.P.95 2010 Manouba, Tunisia;

Abstract

The Maghreb regions (Mauritania, Morocco, Algeria, Tunisia and Libya) are facing increasing water scarcity amplified by inefficient water use and overexploitation of water resources. There is evidence that surface water is diminishing and that ground water levels are lowering rapidly. The countries are affected by climate change as rainfall is more erratic and there are longer lasting and more severe periods of drought, alternated with severe rains and catastrophic flooding. The projected climate change impact on agriculture in the Maghreb will most likely increase further. This is accompanied by salinization of soils and ground water, even strengthened by over-fertilization of soils, combined with a general low productivity and misuse of water.

This paper summarized the country profile of the Maghreb regions (Mauritania, Morocco, Algeria, Tunisia and Libya) of key information that gives an overview of the water resources and water use at the national level. It can support water-related policy and decision makers in their planning and monitoring activities as well as inform researchers, media and the general public. Information in the report is organized by sections: All sources used to compile the country profile are also reported in the last section of the document.

Key Words: Water, Climate Change, Agriculture; Maghreb regions

Etat des ressources en eau dans les régions du Maghreb (Mauritanie, Maroc, Algérie, Tunisie et Libye)

Résumé

Les régions du Maghreb (Mauritanie, Maroc, Algérie, Tunisie et Libye) sont confrontées à une pénurie d'eau croissante amplifiée par une utilisation inefficace de l'eau et la surexploitation des ressources en eau. Il existe des preuves que les eaux de surface diminuent et que les niveaux des eaux souterraines baissent rapidement. Les pays sont touchés par le changement climatique car les précipitations sont plus irrégulières et il y a des périodes de sécheresse plus longues et plus sévères, alternant avec des pluies abondantes et des inondations catastrophiques. L'impact projeté du changement climatique sur l'agriculture au Maghreb va très probablement encore augmenter. Ceci s'accompagne d'une salinisation des sols et des nappes phréatiques, voire renforcée par une surfertilisation des sols, combinée à une faible productivité générale et une mauvaise utilisation de l'eau.

Ce document résume le profil de pays des régions du Maghreb (Mauritanie, Maroc, Algérie, Tunisie et Libye) des informations clés qui donnent un aperçu des ressources en eau et de l'utilisation de l'eau au niveau national. Il peut aider les décideurs et les responsables des politiques liés à l'eau dans leurs activités de planification et de suivi et informer les chercheurs, les médias et le grand public. Les informations contenues dans le rapport sont organisées par sections : Toutes les sources utilisées pour compiler le profil du pays sont également rapportées dans la dernière section du document.

Mots clés : Eau, Changement Climatique, Agriculture ; Les régions du Maghreb .

¹ Corresponding author: gaaloul.nouredine@iresa.agrinet.tn

INTRODUCTION

Maghreb (meaning “land of the sunset”) is the Northwest region of Africa (Figure 1) that includes Mauritania, Morocco, Algeria, Tunisia and Libya, all members of the Arab Maghreb Union, and Ceuta and Melilla (Spanish). The Arab Maghreb Union was founded in 1989 to strengthen the ties between the five Northwest African Arab countries and to promote sustainable growth through harmonizing policies and more flexible flows of persons, services, and goods. This African region is the closest to Europe and acts as a bridge with Europe and the Middle East. The total population in the Maghreb countries Algeria, Libya, Mauritania, Morocco and Tunisia was ca. 100 million inhabitants in 2018. There has been a steady growth since. Currently, the growth rate is low (around 1 to 2 percent) in Algeria, Tunisia and Morocco, the three focus countries of this report. A large part of the population is dependent on agricultural activities for their income. Morocco and Tunisia a large part of the country is cultivated (>20%). In Algeria, mainly the coastal zone is cultivated. The ratio of arable land areas and permanent crop differs per country. Tunisia, for example, has a relatively large part in use for permanent crops. The estimated gross domestic product (GDP) of all Maghreb countries, amounted to approximately 1,210 billion international dollars in 2019(Gaaloul, 2021).

The Maghreb ecosystems are diverse, containing both fresh water and saltwater systems. There are wetlands along the coast, important for birds, that are sometimes designated as a Ramsar site (Wetland of International Importance). The inland areas can be characterized as desertic areas and can be categorised into three main types: the agrosystems comprising the oases and the modern irrigated perimeters, the pastoral ecosystems extending from degraded forest formations to desert and freshwater wetlands (e.g., marshes), and salt water (e.g., chotts – salt lakes). These fragile and vulnerable ecosystems are under pressure. As water scarcity is becoming more urgent and plans are made for sustainable water management in the Maghreb region, attention should be paid to the preservation of groundwater dependent ecosystems. For example, oasis, biodiversity hotspots, are groundwater dependent ecosystems that suffer from lowering groundwater tables.

Climate varies highly in the Maghreb, and the region is divided in a Mediterranean (temperate) climate region in the north, and the arid Sahara in the south. The Atlas Mountains in Morocco are regarded as one of the Water Towers of Africa, and receive more rainfall than their lower surroundings). The Sahara Desert in the south receives little or no rainfall. With extreme variations in geographic features, proximity to the coast, etc, precipitation in the Maghreb is highly variable both in space and time. The largest rainfall variation is seen in Morocco. With amounts of more than 800 mm in the northern mountain areas (resulting in a rainfall surplus compared to evapotranspiration) to less than 300 mm in the south (rainfall deficit compared to evapotranspiration). Rainfall occurs mainly in wintertime (Gaaloul, 2021).

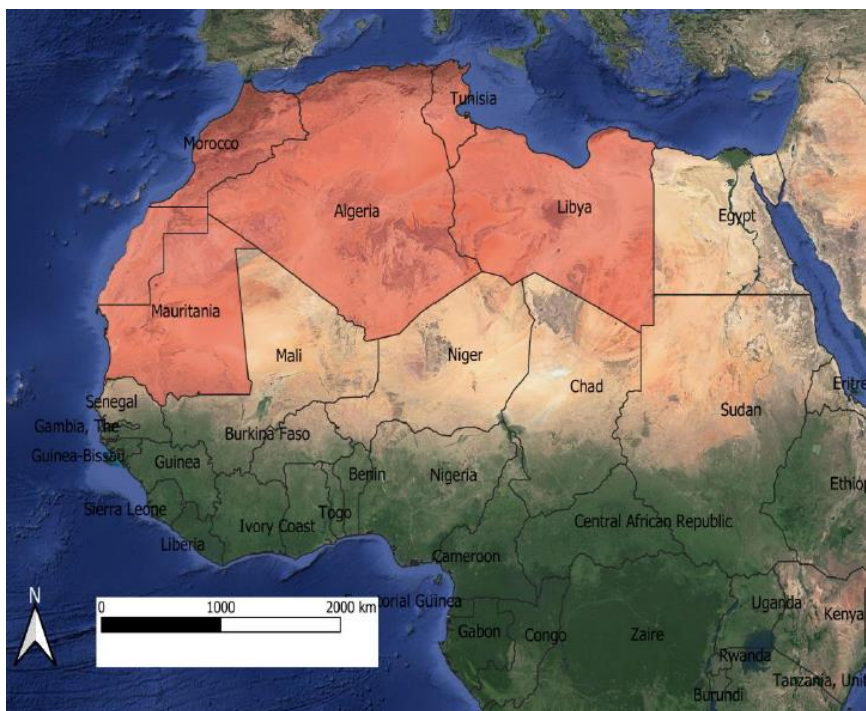


Figure 1. Overview of the Maghreb region, indicated in red.

WATER RESOURCES IN MAGHREB REGIONS (MAURITANIA, MOROCCO, ALGERIA, TUNISIA AND LIBYA)

The Maghreb countries are water-scarce and have a great challenge in sustainable water use (balancing water use with the water recharge rate). A general overview of the availability of water resources is provided below, a more detailed situation description can be found in the country specific chapters.

Surface water: Surface water is unevenly distributed, due to the topography and rainfall distribution. More is available in the north of the Maghreb and downstream of the atlas mountain range. Surface water reservoirs in the Maghreb are widespread and store large quantities of water. Sedimentation of reservoirs due to upstream soil erosion is one of the key issues since it negatively affects the storage capacity in the reservoirs. Also, evaporation losses are high. In several regions, surface waters (e.g. streams) are known to be polluted by untreated municipal and industrial wastewater. Loads from intensive agricultural management practices have also resulted in high phosphorous, nitrate and pesticide concentrations. In addition, various surface waters in West Algeria have shown heavy metal concentrations above the WHO standards (Gaaloul, 2021).

Rainwater: Climate varies highly in the Maghreb, but rainwater can be harvested in wintertime. In the northern part of the Maghreb region, there is a high potential for rainwater harvesting. Also, in the Atlas Mountains in Morocco there is a rainfall surplus. Runoff occurs in the form of rapid and powerful floods that replenish dams during the short rainy season.

Groundwater: There are three transboundary aquifer systems shared between Morocco, Algeria and Tunisia:

- 1) The Errachidia Basin between Algeria and Morocco. With the extent of 60.000 km², it is a relatively small transboundary basin. Rainfall rates are low (200 – 80 mm). Abstraction of groundwater causes water quantity problems in this basin due to reduced groundwater recharge rates (Gaaloul, 2021).
- 2) The Tindouf basin is mainly shared between Algeria and Morocco and to a lesser extent with Mauritania. With an extent of 210.000 km², it is also a relatively small transboundary basin. There is a low demographic density in this basin. Due to low rainfall rates (extreme climatic conditions), active recharge to the aquifer is extremely low (Gaaloul, 2021).
- 3) Algeria and Tunisia (and Libya) are relying strongly on the transboundary aquifer of the North Western Sahara Aquifer System (NWSAS). The NWSAS is the largest transboundary groundwater reserve in North Africa, extending over 1 million km². However, its water resources are largely non-renewable (and can therefore be considered a fossil groundwater resource). Over the last decades the agricultural and industrial development in the basin, as well as the technological advances in well drilling led to steadily growing water abstraction.

The NWSAS is composed of two major water-bearing layers, the Continental Intercalary (CI) and the Terminal Complex (CT). From the 1970 to the 2000s, abstraction by drilling has risen from 0.6 to 2.5 billion m³/year. This rate of abstraction involves many risks: strong impact on neighbouring countries, salinization, elimination of artesianism, drying up of outlets, etc. (OSS, 2004). For more information on this, see the country specific chapters. Today, the rate of withdrawals from the aquifer far exceeds the rate of its replenishment. The water abstraction is currently standing at three times the aquifer's natural recharge rate (1 billion m³ per year) (Gaaloul, 2021).

Water quality: Ground water quality in the Maghreb region is variable. In all three countries, some of it is fresh, but all countries also suffer from salinized ground water. The salinization of groundwater is also predicted to get worse in the future (Gaaloul, 2021). The salinity threshold at which water is generally classified as moderately saline is 1.5 to 3 dS/m. These levels can affect salt sensitive crops and require careful management practices. Water with an Electrical Conductivity (EC) from 3 dS/m up to 7.5 dS/m may cause severe salinity effects and only salt tolerant crops on permeable (i.e. containing a high fraction of sand) soils with careful management practices are suitable for the use of this type of water. Salinization is not new to the Maghreb and as such, farmers have learned to deal with it, at least to a certain extent. When brackish water is not used properly, there is a risk of salinizing, and thereby possibly degrading the soil, especially in the case of clay soils. In areas with very low rainfall this is a significant risk since there is no sufficient rain to leach accumulated salts away from the rootzone of crops. However, when irrigation is done properly (sustainable leaching and drainage to control rootzone salinity, maintain good soil health) conventional crop production is possible with most of the average salinity levels. For most levels of salinity, suitable crops and crop varieties can be selected. With the high (max) values, EC values of 12 dS/m or higher, only a very limited number of specific halophytic crops can be cultivated. For the agricultural sector (for example for vegetable production), the pH of the water is also an important factor. This is highly dependent on the bicarbonate concentration of the water source. There is little information available on the bicarbonate concentrations of water resources in the Maghreb countries, and the agricultural sector could be supported with a widespread mapping exercise on the pH (or bicarbonate concentrations) and salinity concentrations.

Water demand agricultural sector: There are considerable differences between Maghreb countries. For example, we can see that the contribution of domestic water uses to total water use ranges from 9 to 36%. Other numbers are much more comparable between the countries, such as the use of fresh water by industry in the three countries. There are large water losses in the agricultural sector for different reasons. Losses due to non-functional or broken irrigation conveyance systems, or evaporation losses in sprinkler systems, or even an over application of irrigation water regarding the water need of the crop. For example, the agricultural sector of Morocco, using nearly 87% of the countries water resources, still has an efficiency rate of only 48%. Also, the system of drinking water pipes experiences water losses, with a performance rate of less than 70%, meaning water losses close to a third. Food losses in the stage of harvesting, storage and transport could also be considered water lost. All of these steps need improvement to reduce indirect water losses.

Water Pricing: Specifics on water tariffs can be found in the country specific chapters. Most tariffs are applicable for irrigated agriculture. Volumetric pricing is applied. Water pricing is an incentive to reduce water use, but it is in general a low incentive in the area. For groundwater there is often no water pricing because groundwater use is often not controlled/measured.



Mauritania

Mauritania, in the north-western Africa (Figure 2) between the 15th and the 27th parallel north, is bounded on the west by the Atlantic Ocean and extends along a coastline of 600 km. The country covers an area of 1,030,700Km²(National Office of Statistics, 2011. Annuaire Statistique 2011, Ministry of Economic Affairs & Development, Mauritania) and most of the northern half of the country is desert and sparsely populated. The Sahel stretches from west to east in a band 200 km across the south of the country. In the center and north, the terrain consists of mountains, such as those of Adrar and Tagant, going up from 400 to 800m. With the exception of the alluvial plain of the Senegal River in the south, called Chemama, the rest of the country is, in large part, flood plains. The estimated population in 2011 stood at 3.43million inhabitants, 37% of rural areas

Climate: The climate is generally hot and dry, with a Saharan climate in the north and Sahelian in the south. Maximum temperatures exceed 44 °C in May-June, and minimum temperature can go down to 10 °C in January and February. Winds, predominantly north-east, are very frequent and favor the progression of silting. The rainy season is very irregular in time and space. It generally extends over a period of four months, from June to September, with a north-south gradient in rainfall amount ranging from a few millimeters to 450 mm/year. Most of the country receives a rainfall of less than 300 mm/year. There were major droughts in 1984-85 and 1991-92, when rainfall was 35 to 70 % lower than average (Gaouloul, 2021).

Hydrology: The only perennial river in Mauritania is the Senegal River, which forms its southern border. Other rivers are ephemeral and short. The main ephemeral rivers are the Gorgol in the Tagant area, the Garfa and Niorda in the Assaba area, and the Karakoro along the Mali border. In addition to these, there are wadis (smaller ephemeral tributary rivers) that include: Seguelil from Atar at the confluence of Adrar and Amsaga; El Abiod from the south; Khatt depression between Adrar and Tagant; and Tayaret, which is hundreds of kilometers long and is purported to be the oldest stream network, dating back to the Holocene (Friedel, 2008).

There are two primary lakes and numerous sebkhas (ephemeral lakes), such as Lake Aleg, which receives water from the Ketchi wadi, and Lake R'Kiz, which receives water from the Senega River (Friedel, 2008). There are a few small dammed reservoirs in the center and south of the country. Perennial springs occur in a few isolated areas.

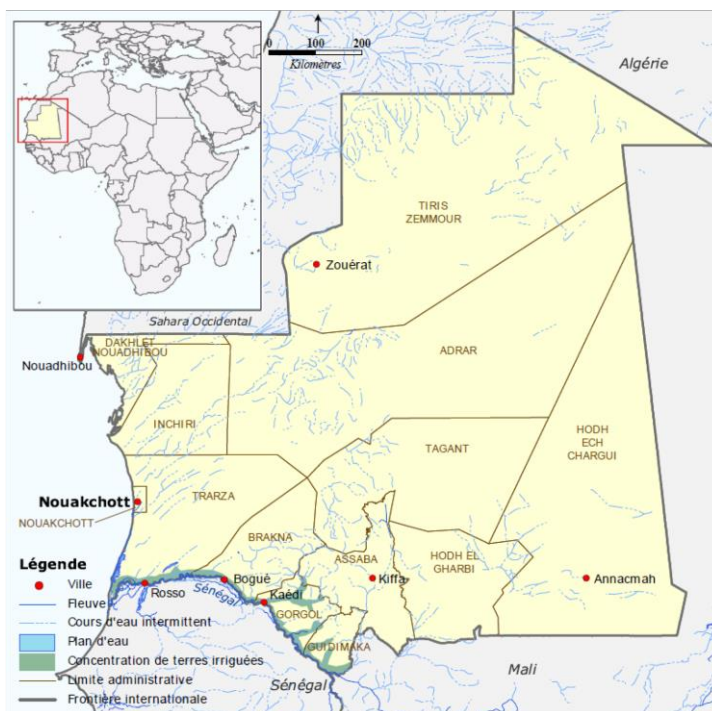


Figure 2. Hydrological networks and location map of Mauritania

The climate in this region is of Saharan type. It is characterized by high daily temperatures and less than 70 mm/year of rainfall. The rainfall is highly variable both in space and time. Furthermore, since 1970, the annual rainfall has decreased by 35%as in most parts of North Africa. Most of Mauritania receives very little rainfall at any time of year, but the very southern edge reaches the semi-arid band called the Sahel and has a wet season between July and September when up to 200 mm of rain fall per month.

The current situation in terms of water resources, water use and water reuse

Water resources in Mauritania are divided between groundwater and surface water. There are significant groundwater resource sin terms of quantity and quality, however, characterized by large geographical disparities. The main continuous sheets are located in the coastal sedimentary basin (Trarza Bennichab and Boulenoir) and in the southern part of the basin Taoudenni (water Dhar). The underground renewable water resources are estimated at 0.3billion m³. The surface water resources (Transboundary water resources) are estimated to total renewable 11.1billion m³/year, consisting essentially of the Senegal River, which forms the border between Mauritania and Senegal, and its tributaries, and dam reservoirs scattered throughout the southern parts and central planning. Of the total 11.1billion m³/year, only 0.1billion m³ is generated internally. The total capacity of dams is estimated at about 0.9billion m³, of which 0.5billion m³ for the dam Fouta Gleita. The Organization for the Development of the Senegal River (OMVS), which includes Mali, Mauritania and Senegal, was founded in 1972 and follows the Inter-State Committee for the Development of the Senegal River Basin (1963-1968) and then to the United States along the Senegal River (ESRO) from 1968 to 1972. Its mandate is to contribute to the economic development of the Member States for the purposes of exploitation of the resources of the Senegal River Basin. In 2000, water withdrawals were estimated at 1.698 billion m³, of which 1.5 billion for agriculture (88 %), 150 million for domestic use (9 %) and 48 million for industry (3 %). Surface water is mainly used for irrigation; navigation, drinking and hydro power generation (Table 1 and Table 2)

Table 1. Water resources in Mauritania

Renewable freshwater resources		
Precipitation (long-term average) (mm/yr)		92
Precipitation (long-term average) (10 ⁹ m ³ /yr)		94.35
Internal renewable water resources (long-term average) (10 ⁹ m ³ /yr)		0.4
Total actual renewable water resources (10 ⁹ m ³ /yr)		11.4
Dependency ratio (%)		96.49
Total actual renewable water resources per inhabitant (m ³ /yr)	2004	3 826
Total dam capacity (10 ⁶ m ³)	1994	900

Table 2. Water use in in Mauritania

Water withdrawal		
Total water withdrawal (10 ⁶ m ³ /yr)	2000	1 698
Irrigation + Livestock (10 ⁶ m ³ /yr)	2000	1 500
Municipalities (10 ⁶ m ³ /yr)	2000	150
Industry (10 ⁶ m ³ /yr)	2000	48
per inhabitant (m ³ /yr)	2000	642
Surface water and groundwater withdrawal (10 ⁶ m ³ /yr)	2000	1 696
as % of total actual renewable water resources (%)	2000	14.9
Non-conventional sources of water		
Produced wastewater (10 ⁶ m ³ /yr)		
Treated wastewater (10 ⁶ m ³ /yr)	1998	0.7
Reused treated wastewater (10 ⁶ m ³ /yr)	1998	0.7
Desalinated water produced (10 ⁶ m ³ /yr)	1990	1.7
Reused agricultural drainage water (10 ⁶ m ³ /yr)		

According to the Water Strategy set by the Ministry of Water and Sanitation in May 2012, the rate of sanitation coverage is 46% in 2010 at the national level. Access to sanitation in rural and urban areas appears as follows: a) 40% of households have access to sanitation rural sanitation by autonomous, and b) 60% of households have autonomous systems of urban sanitation. In this section, coverage is computed as the number of households connected/number of households in city or town or wilaya or moughataa. Mauritania is defined by very scarce and poorly documented water resources. Mauritania's water resources are far from insignificant, with an average of 2,800 m³ / inhabitant / year in 2014, but they are very unequally distributed and difficult to mobilize, effectively resulting in extreme scarcity. Such resources comprise:

Surface water (97 % of renewable resources) concentrated along the southern border in the Senegal River, the only sustainable river in the country, and in countless ephemeral wadis. *Groundwater* (3 % of renewable resources), mostly in fracture aquifers with low yields and high drilling failure rates, and, in some parts of the country, in more productive continuous porous aquifers. The lack of good water resources knowledge, planning and management affects the sustainability of current withdrawals and impairs the development of new resources. As Mauritania is located in one of the regions most affected by climate change, temperature increase and rainfall variability are certain to accelerate the depletion and degradation of water resources.



Morocco

Morocco is located in the northwestern corner of Africa across the Mediterranean Sea and the Strait of Gibraltar from Spain (Figure 3). Morocco has an area of 446,300 square kilometers, not including 250 square kilometers of coastal waters, which makes it slightly larger than California. Western Sahara, claimed by Morocco, has an area of about 266,000 square kilometers.

Climate: The Rif and Atlas Mountain ranges divide Morocco into two climatic zones: one that receives the westerly winds from the Atlantic and one that is influenced by the proximity of the Sahara Desert. Western and northern Morocco have a Mediterranean (subtropical) climate, with mild winters and hot, dry summers. On the Atlantic Coast, the mean temperature is 16.4° C to 23° C. By contrast, the climate is more extreme in the interior, where it is subject to wide seasonal variation, with temperatures ranging from 10° C to 27° C. The pre-Saharan south has a semi-arid climate. Rainfall varies from moderate in the northwest to scanty in the south and east. The rainy seasons are April–May and October–November. Only the mountains receive rain in the summer. Because of its inconsistent rainfall, Morocco is subject to periodic droughts, which take a considerable toll on agriculture.

Hydrology: Morocco has the most extensive river system in North Africa (Figure 1.18). Its two most important rivers are the Moulouya, which flows into the Mediterranean Sea, and the Sebou, which flows into the Atlantic Ocean. This is a list of rivers in Morocco; this list is arranged north to south by drainage basin, with respective tributaries indented under each larger stream's name:

Atlantic Ocean: Loukkos River; Sebu River (Guigou River) (Baht River, Oued Rkel, Ouegha River, Inaouen River; Lebne River; Fes River); Bou Regreg; (Grou River, Korifla River); Oued Nefifikh; Oued Mellah; Rbia River; Tessaoute River; Lakhdar River; El-Abid River; Tensift River; Nfis River; Ourika River; Oued Ksob; Oued Tamri ; Sous River ; Massa River ; Noun River (Assaka River); Draa River (Dadès River; Ouarzazate River, Imini River).

Mediterranean Sea: Laou River, Rhis River, Nekor River, Kert River, Río de Oro, Moulouya River (Za River, Msoun River, Melloulou River)

Sahara Desert: Oued Guir, Ziz River (Oued Rheris, Oued Todra)



Figure 3. Hydrological networks and location map of Morocco.

Morocco is characterized by the uneven distribution of water both spatially (asymmetry may be observed among water basins in the course of the hydrological year) and temporally (annual precipitation may diverge significantly, almost on a 1:10 ratio), and this is the main feature of the hydrological regime. Furthermore, Morocco has experienced severe droughts in recent decades with occasional extreme precipitation episodes and disastrous flash floods. The most rainfall occurs between October and May. Higher annual precipitation occurs in the mountainous areas of the north-west, in the Loukkos river basin, Tangier and the Mediterranean coast, at more than 1,000 millimetres per year (mm/yr). Conversely, precipitation is less than 300 mm/yr in the Moulouya, Tensift, Souss-Massa and South Atlas basins. In the sub-Saharan region, it is even lower, at less than 100 mm/yr.

Morocco is divided into seven major river basins, as shown in Table 3, as well as a number of smaller basins. Freshwater recharge is estimated at 22 billion m³ per year, of which 18 billion m³ per year come from surface water and 4 billion m³ per year from groundwater. Surface water resources are characterized by high variability: resources for nine years out of ten, or four years out of five, are significantly below this average. Surface water inflows reach several million cubic meters for basins with the least water in average years. This runoff is largely due to rapid and powerful floods. They are generally recorded during an average estimated period of 20 to 30 days for the basins in southern Morocco, and two to three months for basins in northern Morocco and the Moulouya River region. In a drought year, water inflow can drop to under 30 % of this mean value. Managing the uneven distribution of water resources in time and space has involved the construction of large dam reservoirs for storing the inflow from wet years to be used in dry years and transferring water from regions with surplus water to regions with water shortages in order to encourage balanced economic and social development across the whole of Morocco. The mobilized potential still available from conventional surface water sources is rather limited. It is certain that between 80 and 90% of economically accessible surface water resources have already been regulated through dams and interannual storage reservoirs in Morocco.

Table3. River basins in Morocco

Name of basins	Surface area (Km ²)	Average surface water runoff (mm ³ / yr)
Loukkos, Tangier and Mediterranean coastlines	12,800	3,600
Sebou	40,000	5,600
Moulaya, Figuig, Kert, Isly and Kiss	76,664	1,610
Bou Regreg and Xhavia	20,470	847
Oum Er-Rbia and El Jadida-Safi	48,070	3,447
Tensift and Ksob-Igouzoulou	24,800	872
Souss-Massa-Draa	126;480	1,398

The current situation in terms of water resources, water use and water reuse

According to estimates, Morocco has an average annual renewable water resource potential of almost 22 billion m³, of which approximately 18 billion m³ are surface water and 4 billion m³ groundwater. Average annual rainfall is 140 billion m³, but can vary from 50 billion m³ to 400 billion m³. The country's internal annual renewable freshwater resources per capita are 899 m³ (2011) and are projected to decrease to 508 m³ in 2020, which is well below UNDP's 1,000 m³ scarcity threshold. Evapotranspiration is high: evaporation and transpiration losses are, on average, 118 billion m³ per year.

Potential groundwater resources are estimated at around 4,105 million m³ per year, of which 1,017 million m³ per year come from irrigation water returned via surface water in particular. Groundwater has been consumed at a high rate of around 4.2 billion m³ per year, a value 10 % higher than the average annual replenishment, leading to water destocking estimated at 0.9 billion m³ per year. This extraction has led to a rapid drop in the water table, at a rate of 2 m per year on average. Unsustainable abstraction rates have been used in several aquifers (Saïss, Souss, Témara, Haouz and South Atlas). Aquifer overexploitation is endangering the socioeconomic development of rural areas, creating a dysfunctional ecological situation, and increasing desertification (Table 4).

Table 4. Water resources in Morocco

Renewable freshwater resources		
Precipitation (long-term average) (mm/yr)		346
Precipitation (long-term average) (million m ³ / yr)		154 500
Internal renewable water resources (long-term average) (million m ³ / yr)		29 000
Total actual renewable water resources ((million m ³ / yr)		29 000
Dependency ratio (%)		0
Total actual renewable water resources per inhabitant (m ³ / yr)	2013	879
Total dam capacity (million m ³)	2015	17 500

Wastewater potential is evaluated at around 485 million m³ for 2010 and 700 million m³ for 2030, of which approximately 60% is discharged directly into the sea. Morocco is only just starting to produce freshwater by desalination or demineralization. For

the moment, this is only used for urban water supply in the Saharan provinces (El Aaiun, Tarfaya, Smara and Boujdour). Overall production capacity is already around 16,500 m³ per day. In addition, around a quarter of groundwater is, either in whole or in part, brackish water. This water is mostly situated in the country's desert and semi-desert regions (Table 5).

Since the 1960s, Morocco has adopted an appropriate policy of water resources development focused on the construction of dams, which has provided drinking water supply security for all the towns and cities in the country and made it possible to develop approximately 1,500,000 ha of irrigated land, of which approximately 700,000 ha are part of large irrigated areas.

Table 5 Water use in Morroco

Water withdrawal		
Total water withdrawal (million m ³ /yr)	2010	10 580
Irrigation + Livestock (million m ³ /yr)	2010	9 156
Municipalities (million m ³ /yr)	2010	1 063
Industry (million m ³ /yr)	2010	212
per inhabitant (m ³ /yr)	2010	334
Surface water and groundwater withdrawal (million m ³ /yr)	2010	10 515
as % of total actual renewable water resources (%)	2010	36
Non-conventional sources of water		
Produced wastewater (million m ³ /yr)	2012	700
Treated wastewater (million m ³ /yr)	2011	166
Reused treated wastewater (million m ³ /yr)	2008	70
Desalinated water produced (million m ³ /yr)		
Reused agricultural drainage water (million m ³ /yr)	2000	7

Up until the beginning of the 21st century, public investments in urban water in Morocco focused mainly on universalizing access to drinking water, leaving aside the disposal and treatment of wastewater. However, informal reuse of raw water was common in many city peripheries including Mekne's, Marrakesh, and Settât (Dugué and Valette, 2015; Tanouti, 2013; Mayaux and Massot, 2019). This changed markedly with the launching of the national sanitation plan in 2006 (*French acronym PN4*). The plan aimed to increase the overall treatment rate from a mere 8%–60% by 2020. This required building—and rehabilitating—some 187 plants by 2020, a target later increased to 330 by 2030, 145 of which were effectively operational in 2015 (CREM, 2018). This opened up new opportunities for water reuse. The national water plan (*French acronym PNE*), released in 2009, forecasts a total volume of reusable wastewater of 424 Mm³ by 2020 and 935 Mm³ by 2030. The plan aimed to achieve a reuse rate of 19% by 2020 and 31% by 2030; at that time, this amounted to a total volume of reused water of 300 Mm³, later increased to 325 Mm³.

In 2017, 47.5 Mm³ were effectively being reused in 24 different projects (l'Economiste, 2017); by far the most for golf resorts. The Cherifian Office of Phosphates also reuses treated water to wash its mineral rocks, while some cities, including Ouarzazate, use their treated water to irrigate their green spaces and green belts. After a number of small-scale experiments dating back to the early 1990s (Belghiti, 2013), three projects for agricultural use of treated water are now underway with treated water in Tiznit, Settât, and Oujda.

Aside from the national water plan, three different planning documents in 2017 dealt with wastewater reuse. The National Sanitation program for rural areas (*French acronym PN4R*) was prepared by the Ministry of the Interior. The National Plan for treated wastewater reuse (*French acronym PNRUE*) was drafted by the Water Department of the Ministry of Energy, Mines and Sustainable Development, and the National Plan for wastewater reuse in Agriculture (*French acronym PDREUT*) issued by the Ministry of Agriculture. In 2018, these plans were merged into a single, comprehensive National Plan for Integrated Sanitation (*French acronym PN4M*). The new plan aims to reuse some 428 Mm³ of water by 2025, 474 Mm³ by 2030, and 573 Mm³ by 2040. This includes an objective of 134 Mm³ for agriculture to eventually irrigate a surface area of 15,363 ha.

Promising though these figures may seem on chapter, they overlook the fact that a significant amount of water is already being reused informally. Therefore, the claim that wastewater represents a previously “untapped” resource should be examined critically. As mentioned above, part of the difficulty involved stems from the lack of official, aggregate data on illegal uses. However, case studies in Settât, Marrakesh, and Tiznit have all shown that at least part of the raw wastewater is already used downstream. The new projects (for golfing resorts in Marrakesh, for agriculture in Settât and Tiznit) are undoubtedly safer, as they are formally organized around treatment plants. But they all entail some reallocation from previous users to new beneficiaries, and in one case at least (i.e., Marrakech) this reallocation clearly shifted upward, targeting wealthy international consumers. However, to go beyond such anecdotal evidence, we would need better aggregate data on all current uses, including information on the types and numbers of beneficiaries, and the incomes they derive from wastewater, whether directly (through productive uses) or indirectly (through the rental value of their land).



Algeria

Algeria is located in northwestern Africa (Figure 4), bordering the Mediterranean Sea between Morocco and Tunisia. Algeria has an area of almost 2.4 million square kilometers, more than four-fifths of which is desert. Nearly 3.5 times the size of Texas, Algeria is the tenth largest country in the world and the second largest in Africa.

Climate: The coastal lowlands and mountain valleys are characterized by a Mediterranean climate, mild winters, and moderate rainfall. In this densely populated region, temperatures average between 21°C and 24°C in the summer and drop to 10°C to 12°C in the winter. Average temperatures and precipitation are lower in the intermountain High Plateaus region. The desert is hot and arid. Most of the country experiences little seasonal change but considerable diurnal variation in temperature. Rainfall is fairly abundant along the coastal part of the Tell, ranging from 400 to 670 millimeters annually, with the amount of precipitation increasing from west to east. Precipitation is heaviest in the northern part of eastern Algeria, where it reaches as much as 1,000 millimeters in some years. Farther inland the rainfall is less plentiful.

Hydrology: Algeria's largest river is the Chelif, flows 725 kilometers from the Tell Atlas into the Mediterranean Sea (Figure 1.5). The country is divided into 17 major hydrographical basins, of which five are transboundary: the Medjerda basin is shared with Tunisia, and the Tafna, Draa, Guir and Daoura basins are shared with Morocco. The Seventeen principal wadis are:

Mediterranean Sea: Tafna River (Isser River), Hammam River (Habra River) (Macta River) (Sig River, Mebtouh River), Chelif River (Mina River, Djediouia River, Ghio River (Riou River), Sly River, Tsighaout River, Fodda River, Rouina River (Zeddine River), Ebda River, Massine River, Deurdeur River, Akoum River, Nahr Ouassel River, Touil River), Mazafran River; Harrach River; Reghaïa River; Boudouaou River; Isser River (Malah River); Sebaou River; Soummam River (Amassine River, Bou Sellam River, Sahel River); Kebir River (Jijel) (Enndja River; Rummel River); Guebli River; Safsâf River; Kebir River (Skikda); Seybouse River (Cherf River); Kebir River (El Taref); Medjerda River (Mellègue River, Ksob River (Chabro), Meskiana River

Sahara: Sebkhett el Melah (Oued Saoura (Oued Zousfana, Oued Guir (Oued Béchar) Oued Messaoud (Oued Tilia); Chott Ech Chergui (Oued el Korima); Chott el Hodna (Oued Leham); Chott Melrhir (Oued Djedi, Oued Zeribet, Oued el Arab, Oued el Mita, Oued Ittel, Oued el Kherouf); Sebkhett Safioune (Oued Zegrir, Oued Mya); Sebkhett Mekerrhane, Oued Tsaret, Asouf Mellene, Oued Tasendjanet); Aharrar (Oued Igharghar, Oued Tafassasset, Oued Ti-n-Tarabine, Oued Igharghar, Oued Zazir, Oued Ti-n-Amzi, Oued Tamanrasset); Grand Erg Occidental (Oued Namous).

Rainfall is fairly abundant along the coastal part of the Tell, ranging from forty to sixty-seven centimeters annually, the amount of precipitation increasing from west to east. Precipitation is heaviest in the northern part of eastern Algeria, where it reaches as much as 100 centimeters in some years. Farther inland the rainfall is less plentiful. Prevailing winds that are easterly and northeasterly in summer change to westerly and northerly in winter and carry with them a general increase in precipitation from September to December, a decrease in the late winter and spring months, and a near absence of rainfall during the summer months.

The annual amount of rain is 100 billion m³, of which 80 % evaporate into the atmosphere. The water resources are estimated at 19.3 billion m³/year, of which 12.4 billion of surface water and 6.9 billion of underground water. Only 6 billion could be mobilized by dams. For the moment only four billion are mobilized by nearly 110 dams.

From the 6.7 billion of groundwater resources, 5.1 billion are located in Sahara. The rest, i.e. 1.6 billion m³, is already mobilized at a rate of 80 %, principally by wells and boreholes.

The North West and the North east of Algeria, have been passed in the last decade more episodes of drought. Dam's volumes and water table levels are decreased. The drought in those regions is Meteorological, caused by the continuous reducing of average rainfall (Rahmani et al., 2015). The Algerian steppes have great importance in the National Development Strategy (Higher Plate Development Program). The rapid demographic growth applies a high pressure on water resources. Since the last few decades, water resources in steppe were limited in terms of quantitative availability and quality. (Rahmani et al., 2020)

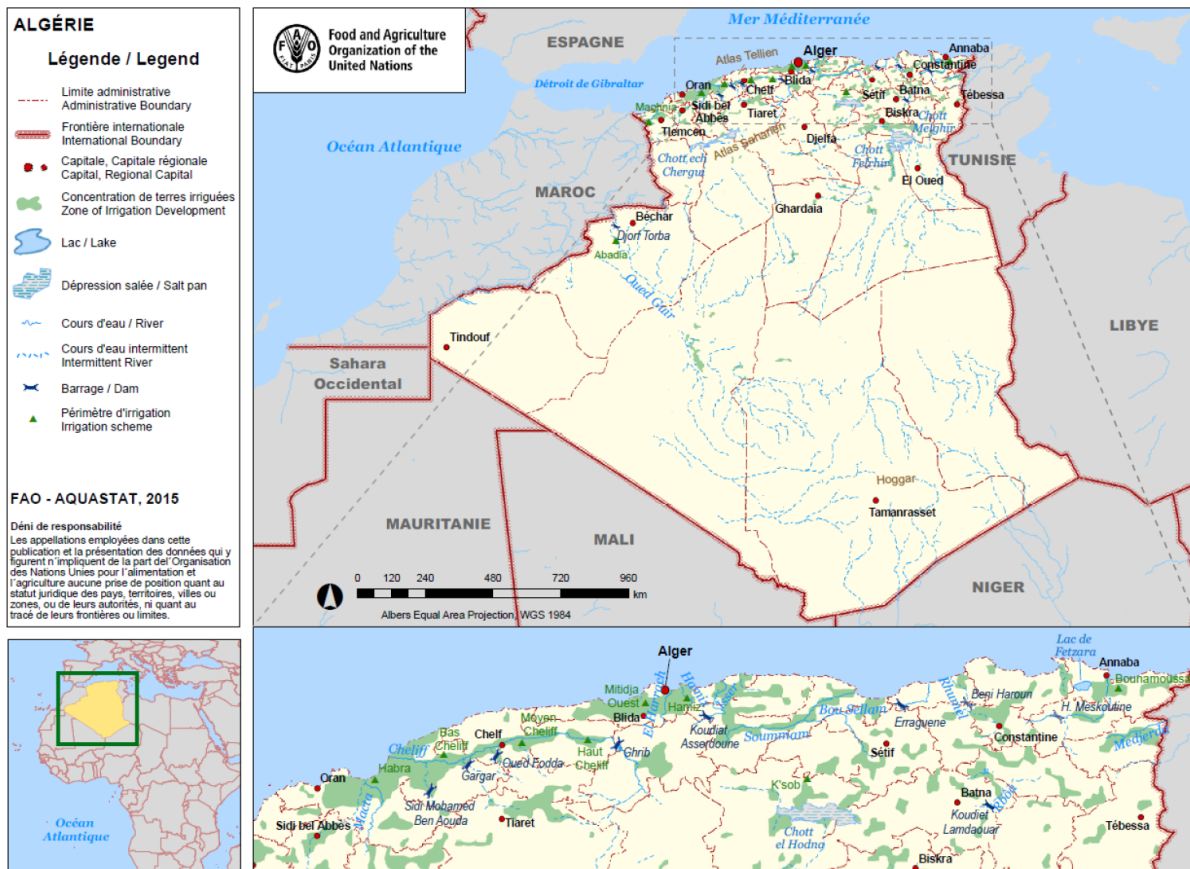


Figure 4. Hydrological networks and location map of Algeria

The current situation in terms of water resources, water use and water reuse

Algeria is Africa's second most water scarce country (after Libya), with only 297.6 m³ available per person per year, well below the 1,000 m³ per year international water scarcity threshold. Water shortages, aggravated by regular droughts, are a major problem and a limiting factor in the availability of safe drinking water (Table 6)

Table 6.. Water resources in Algeria

Renewable freshwater resources		
Precipitation (long-term average) (mm/yr)		89
Precipitation (long-term average) (million m ³ /yr)		212 000
Internal renewable water resources (long-term average) (million m ³ /yr)		11 250
Total actual renewable water resources ((million m ³ /yr)		11 670
Dependency ratio (%)		4
Total actual renewable water resources per inhabitant (m ³ /yr)	2014	292
Total dam capacity (million m ³)	2015	8 300

Potential water resources in Algeria are 19.2 billion m³ (surface water 12.4 billion m³ and underground water 6.92 billion m³, mainly in the Sahara). The national average rainfall is around 89 mm per year, well below the level required to sustain rain-fed agriculture. The average annual water crop is estimated at 100 billion m³, of which approximately 80 % is lost as evapotranspiration. The underground aquifers in the north are exploited to 90%, with 2 billion m³ per year. The lack of surface water resources has culminated in the overexploitation of coastal aquifers and their contamination from saltwater intrusion. The Oranie and Chelif water basins are the most affected by this phenomenon. Consequently, salinity affects irrigated agricultural

land, which, in some instances, has become irreversibly sterile. In the Sahara region, the extracted volume is valued at 1.7 billion m^3 (Table 7).

In June 2018, total production of domestic wastewater in Algeria was 1596Mm³. Table 8 lists forecast indicators for the 2035 horizon based on the National Water Plan, which is used as a tool for water resources management in Algeria ((Ministère des ressources en eaux ,2010). In 2018, the total volume of wastewater produced and managed by the Algerian wastewater treatment office (ONA) was more than 577Mm³. The number of treatment plants also monitored by ONA was 148 for a treated volume of 123Mm³.

Table 7. Water use in Algeria

Water withdrawal		
Total water withdrawal (million m^3 / yr)	2012	8 425
Irrigation + Livestock (million m^3 / yr)	2012	4 990
Municipalities (million m^3 / yr)	2012	3020
Industry (million m^3 / yr)	2012	415
per inhabitant (m^3 / yr)	2012	219
Surface water and groundwater withdrawal (million m^3 / yr)	2012	7800
as % of total actual renewable water resources (%)	2012	67
Non-conventional sources of water		
Produced wastewater (million m^3 / yr)	2012	820
Treated wastewater (million m^3 / yr)	2012	324
Reused treated wastewater (million m^3 / yr)	2012	10
Desalinated water produced (million m^3 / yr)		
Reused agricultural drainage water (million m^3 / yr)	2012	615

Table 8. Predicted increase in the quantity of wastewater in Algeria (Ministère des ressources en eaux ,2017).

Horizon	Total wastewater (Mm ³ / yr)	Plant capacity (Mm ³ / yr)	Treated wastewater (Mm ³ / yr)
2020	1190*	1060	650
2025	1360	1320	820
2030	1570	1510	1020
2035	1780		1625

* The expected volume was reached in 2012

The first legislative framework for the treatment of wastewater, named “Concession for the use of treated wastewaters for irrigation purposes,” dates from May 23rd, 2007 and provides a general framework for using these waters (definition of wastewater, sanitary controls, and financial agreement). An interministerial decree published in January 2012 lists the required properties of treated wastewater for irrigation purposes. It defines thresholds for microbiological parameters, physical parameters, chemical parameters, and heavy metals. These thresholds are inspired by WHO (World Health Organization) standards and are probably too inflexible for the Algerian context. Today, the number of treatment plants officially concerned by wastewater reuse is 17 and the volume reused is 8Mm³. The total irrigated area covers more than 11,000 ha, particularly fruit trees (palm dates, olive, etc.) and some cereals. The most emblematic cases for controlled water reuse are Hennaya-Tlemcen in the North West and Guelma-Bouchegouf in the north east, with 912ha and 6980ha of irrigated land, respectively. In both cases, water is released from an activated sludge plant into a river and then pumped to the plots.



Tunisia

Tunisia is a country in the Maghreb region of North Africa, situated to the south of the Mediterranean; it is bordered by Libya in the southeast, Algeria in the west (Figure 5). Tunisia's surface area is of 164,000 km², its coastline totals 1300 km, its average altitude is 700 m and its highest point is the Jebel Châambi (1540 m). Tunisia country share many common features in terms of climate, water and land resources and development issues. These include arid and semi-arid climate, limited water resources, agricultural development limited by water availability and high economic and social value of water.

Climate: Tunisia's geographical situation, bordering the Mediterranean on the east and north and stretching to the Sahara in the south, gives it an arid diversified climate. The climate is varying from Mediterranean to semi-arid and arid, ranging from humid in the extreme North to desert-type in the extreme south. The climate is Mediterranean, ranging from humid in the extreme North to desert-type in the extreme south. In the north and along the coast, the climate is Mediterranean; inland and in the south, it is semi-arid to arid. The hottest month is August with a mean monthly temperature of 26°C, and a highest monthly temperature of 28.7°C. January is the coolest month having a mean monthly temperature of 10.7°C and a lowest value of 8.4°C. The mean annual temperature in Tunisia varies between 15°C in the North to 21°C in the South. The climatic and geomorphologic characteristics define three major agro-ecological zones:

- The North, constitutes a sylvo-agricultural region (mainly forests and annual crops); its average rainfall is between 400-600 mm and its main topographic features are mountain pasturelands in the north-west and fertile plains in the north-east.
- The Centre, constitutes an agro-pastoral region (pasturelands and crops); its rainfall is between 200-400 mm, and its morphology is composed of a low steppe to the east with fertile plains interrupted by depressions and a high steppe with mountain pasturelands and plains.
- The South, with irregular rainfall of 100-200 mm, is characterized by its aridity and vulnerability of its soils to desertification. This area is pastoral with oases.

Hydrology: This is a list of rivers and wadis in Tunisia (Figure 1.26). This list is arranged by drainage basin, with respective tributaries indented under each larger stream's name:

North Coast: Oued Zouara, Oued Sejenane (Oued Zitoun), Oued Joumine, Oued Tine, Oued Medjerda (Oued Siliana, Oued Tessa, Oued Mellègue (Oued Sarrath), Oued Miliane (Oued el Hamma))

East Coast: Oued el Hadjar, Oued Lebna, Oued Chiba, Oued Nebhana, Oued Zeroud (Oued Merguellil, Oued el Hattab Oued el Hajel (Oued el Fekka), Oued el Leben)

Interior: Oued el Melah (Oued Sefioune, Oued el Kebir), Oued Jencien

As an arid to semi-arid country, Tunisia is facing water shortages of increasing severity. Most regions in Tunisia have modest rainfall: only one-third of the territory benefits from 400 mm per year, while two-thirds receive less than 400 mm per year. Rain is concentrated between May and September, with a limited number of days receiving rainfall. Two-thirds of the country, for example, receives an average of less than 50 days of rainfall. Tunisia, like all countries in the MENA region, is characterized by overall water scarcity. Even without the impacts of climate change, Tunisia already faces an increasing scarcity of water resources and a number of challenges in the water sector.

Tunisia is divided into seven river basin districts, which include several river basins:

- Basin 1, which covers the northernmost part of the country;
- Basin 2, which comprises the Cap-Bon watershed and the Miliene River;
- Basin 3, corresponding to the Medjerda River watershed, which is the most important river basin in Tunisia;
- Basin 4, which corresponds to the central part of the country (Zeroud, Merguellil and Nebhana rivers);
- Basin 5, which comprises the Sahel of Sousse and Sfax;
- Basin 6, which expands from the southern limit of Basin 4 and the Sahel up to the north of Chot el Jerid; and
- Basin 7, which covers the southernmost part of the country, up to the Algerian and Libyan borders.

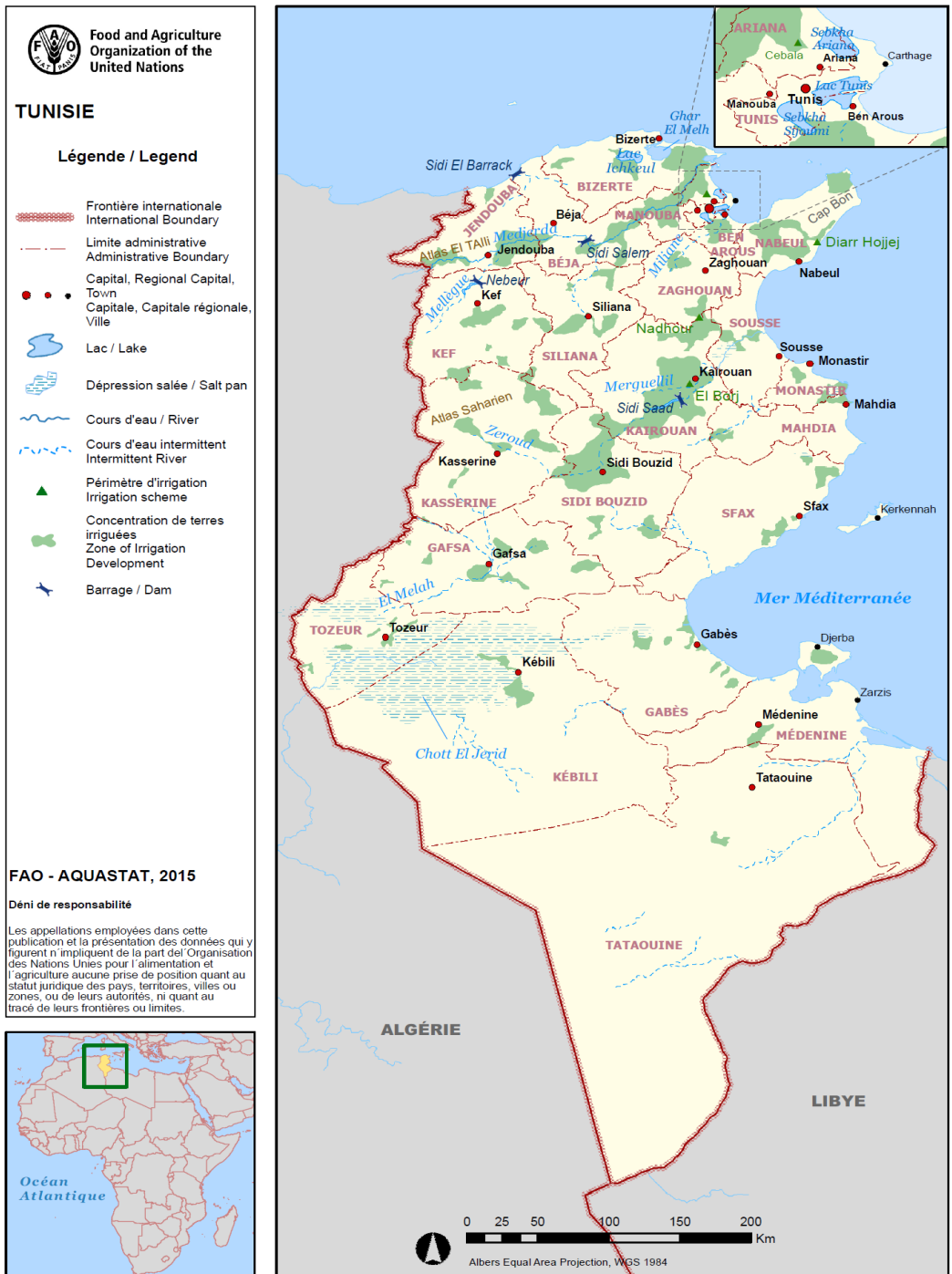


Figure 5. Hydrological networks and location map of Tunisia.

The current situation in terms of water resources, water use and water reuse

Water resources in Tunisia are characterized by large variability in both time and space. In terms of spatial variability, mean annual precipitation ranges from 1500 mm on the peaks of the Kroumirie mountains in the north-western corner of Tunisia to less than 100 mm in the south. Variability in time is very high both within and between years. Mean total precipitation is 36 km³ of which only 3 km³ could be potentially collected as runoff water in large dams. Renew-able groundwater resources are estimated at 1.8 km³. The water resources are about 4.8 billion cubic meters of which 2.7 billion cubic meters are from surface water and 2.1 billion cubic meters from groundwater. The annual total volume of exploitable water resources in Tunisia is about 4800 Million cubic meters of which about 56% (2700 MCM) is surface water and the remaining 44% (2100 MCM) groundwater (Gaaloul; 2021). The escalation of urban water demand has led to an increasing use of freshwater for domestic purposes and to the production of large volumes of wastewater. In turn, this has a significant impact on the allocation of water for crop irrigation: the agricultural sector is expected to face significant water quantity and quality problems, given that the volume of freshwater that becomes available for crop irrigation is decreasing. Furthermore, there is growing competition over available resources near large urban centers. In the above context, policy makers have been compelled to develop additional resources, and to take measures towards water resource conservation. Currently, the main components of the National Water Resources Management Strategy are gradually shifting towards surface water mobilization, soil and water conservation works, water harvesting, and the use of non-conventional water resources, such as the re-use of treated wastewater for crop irrigation and aquifer recharge.

The water distribution resources in the three geographical regions is quite different:

- Most surface water resources are localized in the Northern region (81.2%) which represents only 17% of the total Tunisian area,
- The biggest part of the ground water resources is in the south, particularly in deep-lying aquifers with fossil water form,
- The Center is the poorest region on water resources

Water resources are unevenly distributed across the country with around 60% located in the North, 18% in the Center, and 22% in the South. Water quality, especially salinity, is a serious constraint. Surface water has a generally low salinity (with the exception of the tributaries entering the Medjerda river from the south). Groundwater are badly affected with 84% of all groundwater resources having salinity levels of more than 1.5 g/L and 30% of the shallow aquifers more than 4.0 g/L. Figure 6 shows a detailed classification of water resources in Tunisia according to their salinity. In Tunisia, 26% of surface freshwater, 91.6% of groundwater (shallow aquifers) and 80% of groundwater (deep aquifers) have got water salinity of over 1.5 g/L. It is clear that a large percentage of these waters need to be desalted before they can be exploited. Out of the modest quantities of water available, only a small portion meets the standards for potable water due to high salinity levels. Only 8.4 % of the total shallow groundwater has salinity levels inferior to 1.5 g/L (Gaaloul, 2021).

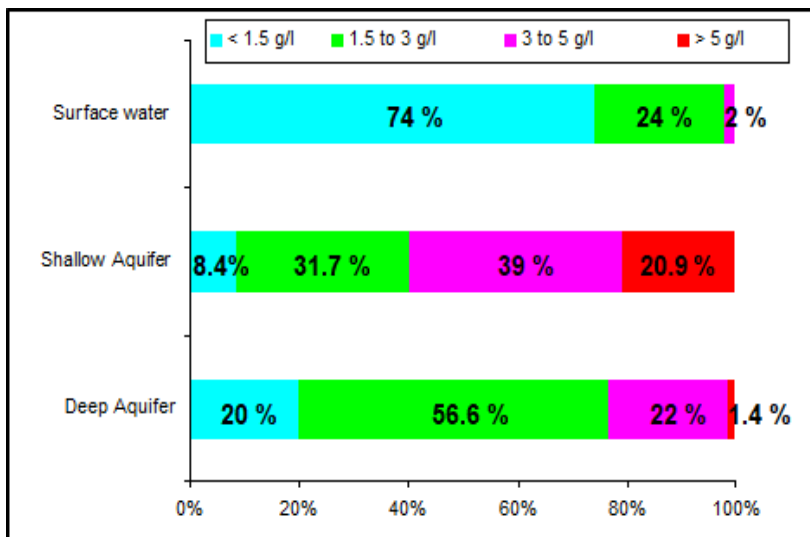


Figure 6 Tunisian water resources classification according to salinity levels.

On a national scale, water resources are distributed unequally (Table 9; Table 10 and Table 11). In most regions' precipitation is insufficient and unpredictable, and it is unevenly distributed across regions. Groundwater supplies a large part of water resources,

whether for drinking or agriculture. The country belongs to the so-called variability group of countries in North Africa, which consists of countries that have more or less adequate quantities of renewable water at the national level, but with high levels of variation between different parts of the country and over time. The primary concern is therefore internal distribution, both geographically and temporally. Climate change is predicted to increase the natural variability of precipitation regimes in Tunisia, along with a predicted overall decrease in mean annual precipitation, which will make water management increasingly difficult for water and agriculture planners.

Table 9. Geographical distribution of different categories of water in Tunisia

Basin	Far North	North	Center	South	Total
Regional surface (%)	3			62	100
Supply of surface water (million m ³)	960	1 230	320	180	2 700
Groundwater (million m ³)		395	216	108	719
Deep Groundwater (million m ³)		269	326	822	1 417
Total potential resource (million m ³)		2 854	862	1 120	4 836
Percent		59	18	23	100

Tunisia, like any Mediterranean country, is subject to the vagaries of the climate with droughts more frequent forcing him to focus on water resources. In fact, it has for decades, public facilities for the storage, transfer and distribution of water, which allowed him a multiyear regulation of water resources and the needs of all economic and social sectors. Surface water intakes from four distinct natural regions by their climatic, hydrological and geomorphological and geological aspects; these are:

- The extreme north: Although its area presents only 3% of the total land area, it provides surface water intakes estimated on average to 960 million m³ / year, 36% of the total potential of the country.
- The North: presented by the basins of the Medjerda Cap Bon and Méliane and provides an average of 1,230 million m³ / year, 46% of the total potential surface water.
- The center: it includes the watersheds Nebhana, Marguelli, Zeroud and Sahel and presents annual resources estimated at an average of 320 million m³ / year, or 12%.
- The South: its content for about 62% of the total land area, it is the poorest region in surface water and has only very irregular resources, assessed at 190 mm³ / year, or 6% of the total potential.

Access to drinking water reached 100 % in urban areas in 2011 and 93.5 % in rural areas, connection rates that are close to those observed in OECD countries and very high compared with the average for the North Africa region.

Table 10. Water resources in Tunisia

Renewable freshwater resources		
Precipitation (long-term average) (mm/yr)		207
Precipitation (long-term average) (million m ³ /yr)		33 870
Internal renewable water resources (long-term average) (million m ³ /yr)		4 195
Total actual renewable water resources (million m ³ /yr)		4 615
Dependency ratio (%)		9
Total actual renewable water resources per inhabitant (m ³ /yr)	2013	419.7
Total dam capacity (million m ³)	2012	2 677

Table 11 Water use in Tunisia

Water withdrawal		
Total water withdrawal (million m ³ /yr)	2011	3 305
Irrigation + Livestock (million m ³ /yr)	2011	2 644
Municipalities (million m ³ /yr)	2011	463
Industry (million m ³ /yr)	2011	165
Tourisme ((million m ³ /yr)	2011	33
per inhabitant (m ³ /yr)	2011	307
Surface water and groundwater withdrawal (million m ³ /yr)	2011	3 217
as % of total actual renewable water resources (%)	2011	70
Non-conventional sources of water		
Produced wastewater (million m ³ /yr)	2009	287
Treated wastewater (million m ³ /yr)	2010	226
Reused treated wastewater (million m ³ /yr)	2010	68
Desalinated water produced (million m ³ /yr)		
Reused agricultural drainage water (million m ³ /yr)	2012	19.7

Most residents of large urban centers have access to adequate sanitation systems and the wastewater treatment facilities generally follow conventional designs. The sanitation coverage in the sewered cities is about 78%; this rate, related to the whole urban population (5.8 million), is 61%. Concerning industry, compliance with the Tunisian standards to discharge wastewater into the sewerage system is required. So, preliminary treatment plants to fulfil the discharge requirements stated in the regulations must be implemented. Subsidies are given to equip industrial units with pre-treatment processes (Gaaloul, 2021).

Of the 240 Mm³ of wastewater discharged annually, 140 Mm³ (58%) are treated in 61 treatment plants (WWTP) of which around 41 have a daily capacity less than 3500 m³ and 10 above 10 000 m³, Choutrana being the largest with 120 000 m³/d. Five treatment plants are located in the Tunis area, producing about 62 Mm³/yr or 54% of the country's treated effluent. Several of the plants are located along the shoreline to protect coastal resorts and prevent sea pollution. Municipal wastewater is mainly domestic (about 88%) and processed biologically up to a secondary treatment stage. The treatment processes vary from plant to plant depending on wastewater origin and on local conditions. Out of 61 treatment plants, 44 are based on activated sludge (medium or low rate), 3 on trickling filters, 14 on facultative or aerated ponds. Sanitation master plans have been designed for several towns. The annual volume of reclaimed water is expected to reach 290 Mm³ in the year 2020. The expected amount of reclaimed water will then be approximately equal to 18% of the available groundwater resources and could be used to replace groundwater currently being used for irrigation in areas where excessive groundwater mining is causing salt-water intrusion in coastal aquifers (Gaaloul, 2021).



Libya

Libya is located in North Africa on the coast of the Mediterranean Sea (Figure 7). It is bordered on the east by Egypt; on the south by Sudan, Chad, and Niger; and on the west by Algeria and Tunisia. Libya's total area is 1,759,540 square kilometers of landmass, which is slightly larger than Alaska or approximately three times the size of France. Agriculture contributed 1.9 % to the GDP in 2008 (WB, 2016) and was similar in 2010 (WFP and FAO, 2011). It has declined over time as the importance of the oil rose. The sector employs around 6 % of the active population (GIA and UNDP, 2008). Most agriculturally productive land is limited to a strip along the Mediterranean Sea, where most rain falls. The two main areas of natural farmland are the high coastal plateau of Jabal al Akhdar in the north-east and the fertile coastal plain of Tripolitania and Cyrenaica in the north-west, where irrigation is still vital. There are some oases in the desert where water is available from shallow wells. Wheat and barley are the major cereals grown in the country. Other important crops include olives, grapes, dates, almonds and oranges. The main agricultural products exported are groundnuts, which represented about 50 % of all agricultural exports. Livestock is also important with poultry (24.8 million estimated in 2008), small ruminants (5.1 million sheep, 1.9 million goats) and cattle (210 000).

Climate: The Mediterranean Sea and Sahara Desert are the dominant climatic influences in Libya. In the coastal lowlands, where 80 % of the population lives, the climate is Mediterranean, with warm summers and mild winters. The climate in the desert interior is characterized by very hot summers and extreme diurnal temperature ranges. Along the Tripolitanian coast, summer temperatures range between 40.6°C and 46°C; temperatures are even higher to the south. Summer temperatures in the north of Cyrenaica range from 26.7°C to 32°C. The ghibli, a hot, dry, dust-laden desert wind, which can last one to four days, can change temperatures by 17°C to 22°C in both summer and winter. Precipitation ranges from light to negligible. Less than 2 % of the country receives enough rainfall for settled agriculture. The Jabal areas of the north receive a yearly average of 381 to 508 millimeters. Other regions get less than 203 millimeters. Rain usually falls during a short winter period and frequently causes floods. Winters can be bitterly cold, with temperatures below 0°C. Frost and snowfalls sometimes occur in the mountains. Evaporation is high, and severe droughts are common.

Hydrology: Libya has several perennial saline lakes but no significant perennial watercourses. The only permanently flowing river is the two-kilometer-long Wadi Kiam (Figure 7). The principal wadis are:

Tripolitania: Wadi Awwal (Wadi Tanarut, Wadi Maymun); Wadi Majer - near Zliten; Wadi al Mujaynin; Wadi Turghut (west); Wadi al Masid, Wadi Turghut (east); Wadi Labdah; Wadi Ki'am (Wadi Targhalat) - Libya's only perennial stream; Wadi Sawfajjin; Wadi Zamzam; Wadi Bey al Kabir; Wadi Thamit; Wadi Jarif; Wadi Tilal; Wadi ar Rijl (Wadi Matratin).

Fezzan: Wadi Tanezzuft, Wadi Barjuj, Wadi ash Shati, Wadi Umm al Ara'is, Wasi an Nashu

Cyrenaica: Wadi al Qattarah, Wadi Darnah, Wadi al Khaliq, Wadi Husayn, Wadi al Mu'allaq, Wadi at Tamimi, Wadi al Farigh, Wadi al Hamim.

Libya has four main water basins (Figure 8):

- The western aquifer system, including three interconnected sub-systems: the Murzuq Basin; Jabal Hasawnah; and Al Hamadah al Hamra system;
- the Jefarah Plain system;
- the Al Sarir-Al Kufrah Basin system; and
- the Al Jabal al Akhdar system.

There are no permanent rivers in Libya, only ephemeral rivers or wadis. The main natural lakes are the Ubari lakes in the Ubari Sand Sea in the south, including the Gaberoun, Mandara and Mafo akes-, the protected Ouau en Namu lakes and the 23rd of July or Benghazi lake, which is actually a lagoon. There are two Ramsar sites since 2000: Ain Elshakika and Ain Elzarga totalling 83 ha. The Qattara Depression in the north-west of Libya lies under the sea level and is covered with temporary lakes, salt pans and salt marshes. Other large salt pans include Sabkhat al Hayshah close to the coast near the gulf of Sidra, and Sabkhat Shunayn and Ghuzayil in the north-east.

Libya has a large number of natural springs in particular in the northern parts of the country, many of which are of good quality water. Some of the larger sources are Ayn Zayana, Ayn Kaam, Ayn Dabbousia and Ayn Tawargha (CEDARE, 2014).

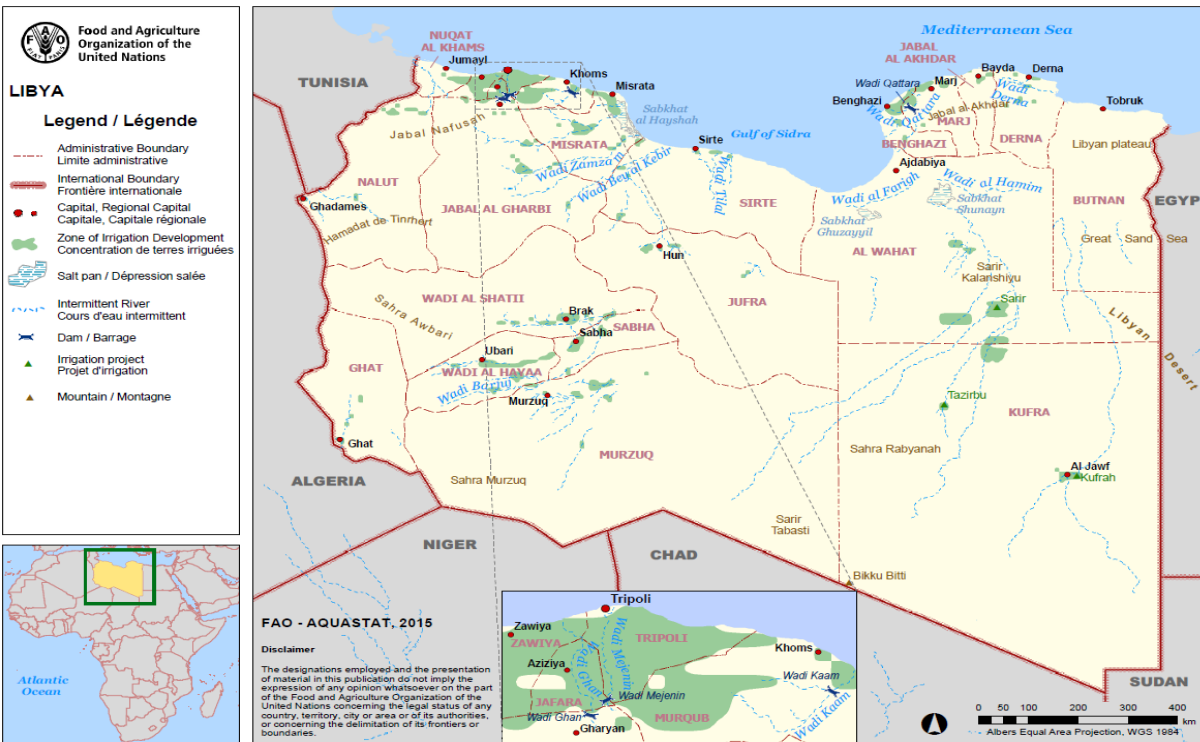


Figure 7. Hydrological networks and location map of Libya

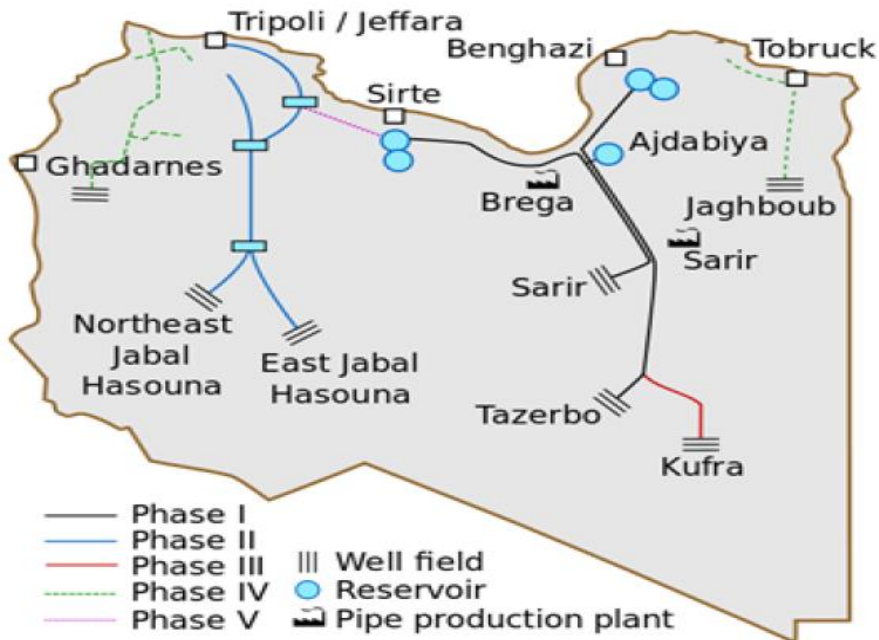


Figure 8. The Great Man-Made River (GMR) in Libya

The current situation in terms of water resources, water use and water reuse

With very limited perennial water resources, Libya relies almost completely on non-renewable, fossil, groundwater resources (MWR and CEDARE, 2014).

Five major aquifers underlie Libya. The first two aquifers are interconnected and form the Western Aquifer. Only the coastal aquifers, the Al Jefara in the north-west and the Al Jabal al Akhdar in the north east are shallow and naturally recharged from the rainfall, as well as part of the Al Hamada aquifer. Part of the Al Hamada, the Murzuq and the Al Sarir-Kufra aquifers, south of 29° North latitude, belong to the great sedimentary basins and are fossil water reserves where the water was stored during the Quaternary. The Al Sarir-Kufra aquifer is part of the Nubian Sandstone Aquifer System (NSAS), the largest aquifer in the world covering an area of about 2 million km² in Libya, Chad, Sudan and Egypt. The Al Hamada aquifer is part of the North Western Saharan Aquifer System (NWSAS) shared with Algeria and Tunisia and consisting of the shallow Terminal Complex sandstone and limestone aquifers and the deeper Continental Interlayer sandstone aquifer (Abdudayem and Scott, 2014).

The Libyan population increased from less than one million in 1955 to 6 million in 2005 and it is expected to reach more than 12 million by 2025 (NASID, 2006). As indicated in Table 12, the total available fresh water supplies on sustainable basis has been estimated at the fixed rate of 2279.5 million m³ / year (GWA, 2000). According to these figures the national annual average per capita water availability decreased from 2280 m³ in 1955 to 380 m³ in 2005 and is expected to reach 190 m³ by the year 2025. Thus, the whole country is already experiencing water scarcity that is getting more severe with time.

Before the 1960s, water from the shallow coastal aquifers could be extracted through wells and traditional tools thanks to shallow water table. From the 1960s onwards, however, pumps were necessary due to falling water table coinciding with the oil boom (CEDARE, 2014). During the oil exploration in the 1950s and 1960s, the deep fossil aquifers were discovered. Their water was first used on site, to develop agricultural projects in the desert close to the wells, but water scarcity and the intense population concentration in the north coast triggered the need to their transfer, initiating the Great Man-made River Project (GMRP) in 1984.

Table 12. Sustainable Water Supplies from all Available Sources in Major Basins of Libya in million m³ per year (MCM/Y) *Source General Water Authority (2000).*

Water-Basin	Surface Water Resources	Groundwater Resources	Unconventional Water resources	Total
Jefara Plain	52	200	27.5	279.5
Jabal Alakdar	92	200	45.5	337.5
Alhamads Alhamra	48	230	50.5	328.5
Kufra and Sarir		563		563
Murzuq		771		772
Total	192	1964	123.5	2279.5

The Great Man-Made River (GMR), also called An-Nair Sinai, transports fossil water from the vast Nubian Sandstone Aquifer System in the south of Libya, northwards to the populated coastal cities. In 1983, GMR was originally intended to supply 67% of the agricultural sector's needs. It now provides about 75 % of Libya's annual water demand (urban plus agriculture), from 1,000 wells, through 4,000 km of buried 4-meter-diameter pipe, with some surface water impoundments for interim water storage.

GMR's first aquifer, the Kufra Basin in southeast Libya, has an estimated groundwater storage capacity of nearly 5,000 cubic miles, in the Libyan sector alone. GMR's first stage, completed in 1991, supplies Benghazi and fills coastal reservoirs. As mentioned below, desert reservoirs have huge risks of evaporation. GMR has supplied Tripoli's water since 1997. Ultimately GMR is expected to provide 3,000 Mcm annually from its 30,000 cubic kilometer aquifers. The goal is to sup 5 million cubic meters per day to coastal populations. Caveat: Global estimates of the availability of ground water often are optimistic; Libya is no exception. Water is priced by fiat; lowest (LYD 0.048) for agriculture, double that for domestic use (LYD 0.08), and highest for industry (LYD 0.796), according to the World Bank (2006). These prices are deeply subsidized, rarely adjusted, and fail to reflect the cost of production.

Although two-thirds of GMR water was originally allocated to irrigation, now 98 % of GMR water is consumed domestically. CEDARE (2014) estimates 225 years, assuming an acceptable drawdown of 100 meters (long since exceeded) and a planned future abstraction of 1,090 Mcm annually. Of course, water lifting and pumping costs rise sharply as the water levels decline. The International Atomic Energy Agency (IAEA) is active in dating groundwater in Libya to infer flow patterns and any recharge. Most desert aquifers are smaller than Libya's, and most are rapidly retreating worldwide under heavy pumping.

Could it be that the bigger constraint becomes the availability of fuel for pumping the water from ever-deeper levels? At present, pumping water from possibly as many as 1,000 wells, from as deep as 2 kilometers (km) up to the pipeline system, consumes much fuel. Once in the pipeline, gravity, supported by some pumps, feeds the demand centers. The pipelines are getting longer, water levels are falling and demand is soaring. Thus, the fuel consumed in pumping is already expensive for Libya and will become more so as global oil prices rise. Every barrel of oil needed for pumping costs Libya US\$90 or more in foregone exports. (Salem, 1998; 1992).

Despite an estimated cost of over US\$ 30 000 million, Libya relied only on national funding, especially from the oil sector. The final objective, after completion of the five phases, is to transfer 5-6 million m³/day to the northern cities through over 500 wells of 500 m deep and about 4 000 km of pipelines (Figure 8)

Phase 1 finalized in 1991, being able to convey up to 2 million m³/day of water for 1 600 km to two reservoirs in the Benghazi and Sirte areas.

Phase 2 brought up to 2.5 million m³/day along 1 227 km to Tripoli from 1997.

Phase 3 enabled to transfer an additional 1.68 million m³/day of water from the Al Sarir aquifer to Tobruk through 621 km of pipeline

Phase 4 will extend the distribution network from Gadamis (Jabal Nafusah and Al Jefara aquifers) to the coast west of Tripoli

Phase 5 is intended to join both the eastern and western systems into a single network. However, the civil unrest stopped further works and some NATO bombings destroyed some reservoirs. Initially allocated to irrigation, transferred water from the GMRP is used at 98 % by municipalities (EGA, 2013). Estimations of the availability of fossil water for this transfer vary greatly: between 50 years and over 4 000 years, depending on actual abstraction of water and sources.

Internal renewable surface water resources are estimated at 200 million m³/year and renewable groundwater resources at around 600 million m³/year, but 100 million m³/year is considered to overlap between surface water and groundwater, which gives a value of total internal renewable water resources (IRWR) of 700 million m³/year (Table 13). No surface water or groundwater is entering the country. The total renewable water resources are 700 million m³/year, or 111.5 m³/year per capita in 2015, Libya being thus well under the absolute water scarcity threshold of 500 m³/year per capita. Fossil groundwater water leaving the country to neighboring countries is estimated at 700 million m³/year.

Currently 19 dams are in operation, including a secondary dam on Wadi Qattara, for a total storage capacity of about 390 million m³ (Table 13). However, their average annual storage capacity is only about 61 million m³ and in fact, due to lower flow records or damage to some dams, it is estimated to even not exceed 30 to 40 million m³/year. Some 20 dams are planned for construction representing an additional 136.6 million m³ of storage and 45 million m³ of additional average annual storage.

Table 13. Water resources in Libya

Renewable freshwater resources		
Precipitation (long-term average) (mm/yr)		56
Precipitation (long-term average) (million m ³ /yr)		98 530
Internal renewable water resources (long-term average) (million m ³ /yr)		700
Total actual renewable water resources ((million m ³ /yr)		700
Dependency ratio (%)		0
Total actual renewable water resources per inhabitant (m ³ /yr)	2015	112
Total dam capacity (million m ³)	2015	389.89

Desalination started in Libya in the early 1960s and installed capacity reached 226.3 million m³/year in 2006 for a total of more than 400 desalination plants, including 17 large ones (GEC, 2006). In 2012, the total desalinated water produced in Libya is estimated at 70 million m³/year aimed at municipal and industrial water demands and using both thermal and membrane technologies. Thermal desalination plants are located directly at electricity generation facilities.

Libya also has 79 wastewater treatment plants in 2010 for a total capacity of 74 million m³, all of which were designed to produce effluents suitable for irrigation. However, out of the 504 million m³ municipal wastewater produced in 2012, only 40 million m³ were treated and directly used in irrigation on 2 900 ha.

In 2000, the total water withdrawal was estimated at 4 268 million m³, of which 83 % was withdrawn for agricultural purposes, 14 % for municipal purposes and 3 % for industrial purposes. More than 30 % of the municipal water demand was supplied by the Great Manmade River Project (GMRP). In 2012, the total water withdrawal is estimated at 5 830 million m³, including 4 850 million m³ or 83 % for agriculture, 700 million m³ or 12 % for municipalities and 280 million m³ or 5 % for industries (Table 14).

Groundwater (including fossil groundwater) provides over 95 % of the water withdrawn or 5 500 million m³ in 2012. The remaining is divided between surface water, with a total controlled volume of 170 million m³/year (CEDARE, 2014), desalinated water and wastewater. The National Strategy for Sustainable Development of 2008 considered that a “sustainable” groundwater abstraction should not exceed 3 650 million m³/year, despite only 650 million m³/year comes from renewable groundwater and 3 000 million m³/year actually comes from fossil water—from the Jefara plains (25 million m³), the Jabal al-Akhdar (25 million m³), the Kufra and Sarir (1 300 million m³), the Hamada (150 million m³) and the Murzuq (1 500 million m³).

Table 14. Water use in Libya

Water withdrawal		
Total water withdrawal (million m ³ /yr)	2012	5 830
Irrigation + Livestock (million m ³ /yr)	2012	4 850
Municipalities (million m ³ /yr)	2012	700
Industry (million m ³ /yr)	2012	280
per inhabitant (m ³ /yr)	2012	947
Surface water and groundwater withdrawal (million m ³ /yr)	2012	5 720
as % of total actual renewable water resources (%)	2012	817
Non-conventional sources of water		
Produced wastewater (million m ³ /yr)	2012	504
Treated wastewater (million m ³ /yr)	2008	40
Reused treated wastewater (million m ³ /yr)	2008	40
Desalinated water produced (million m ³ /yr)		
Reused agricultural drainage water (million m ³ /yr)	2012	

Due to the fact that fossil groundwater is not included in the renewable water resources, the current water withdrawal is more than 8 times the annual renewable water resources. More than half of the domestic water supplies in 2012 were from the Great Manmade River Project (MWR and CEDARE, 2012).

In rural areas people depend to a large extent on private water supply wells, rainwater reservoirs, and springs. A large number of industries, such as the chemical, petrochemical, steel, textile and power generation industries, depend on private sources for water supply, including desalination of seawater (Table 15)

Table 15. Water resources in the major water basins in Libya

Water Basin	Surface Water resources (million m ³ /yr)	Ground Water resources (million m ³ /yr)	Unconventional Water resources (million m ³ /yr)	Total (million m ³ /yr)
Al Jefara Plain	200	52	27.5	279.5
Al Jabal al Akhdar	200	93	45.5	337.5
Al Hamada: al Hamra	230	48	50.5	328.5
Murzuq	563			563
Al Sarir-Kufra	771			771
Total	1 964	192	123.5	2 279.5

Libya does not share any surface water with other neighboring countries, but a most of its groundwater is shared (Table 16).

Table 16. Transboundary aquifers (Source: IGRAC, 2014; EGA, 2013)

Aquifer name		Total aquifer area (km ²)	Sharing countries and respective share (%)
Nubian Sandstone Aquifer (NSAS)	System	2 607 9995	Chad (11), Egypt (38), Libya (34), Sudan (17)
Murzuq-Djado basin		450 000	Algeria, Libya, Niger
Northwest Sahara Aquifer (NWSAS)	System	1 189 533	Algeria (68), Libya (24), Tunisia (8)

The Joint Authority for Study Development of the NSAS was established in 1992 with its headquarters in Tripoli, Libya, initially between Egypt and Libya, and then joined by Sudan in 1996 and Chad in 2000. It coordinates the activities of the countries related to the NSAS and enhance cooperation for its management, in particular through two agreements to exchange updated data.

The Sahara and Sahel Observatory (OSS) hosts a light structure for the management of the NWSAS since 2002. In 2008, a consulting mechanism was formulated to sustainably manage the groundwater resource. It includes a permanent Technical Committee composed of the respective national water authorities, alternatively presided over for one year by the three countries, operating since 2008.



Photograph 1.1 Irrigation circles in the Libyan Desert



Photograph 1.2 Satellite image of irrigation circles at Khufa, Libya

CLIMATE CHANGE IN MAGHREB REGIONS (MAURITANIA, MOROCCO, ALGERIA, TUNISIA AND LIBYA)

The Middle East and North Africa region is experiencing a widening gap between freshwater supply and demand caused by population and economic growth and climate change. The region is diverse in its landscapes and climates, from the snowy peaks of the Atlas Mountains to the empty quarter of the Arabian Peninsula. The MENA region can be classified according to the aridity index, which is defined as the ratio between precipitation and ETref. On the basis of this index, the largest part of MENA can be classified as hyper-arid (<0.05) (World Bank, 2007). This hyper-arid area includes the inland in Northern Africa (Algeria, Libya, and Egypt). The coastal areas of Northern Africa, Iran, and the Western coastal region of the Middle East are defined as arid to semi-arid. Humid areas are found in the northern parts of Morocco, Algeria, Tunisia, Iraq, and Iran, and the western part of Syria and Lebanon. All the countries of the region are located on the coasts of the North Atlantic Ocean, the Mediterranean Sea, the Red Sea, the Gulf of Aden, the Persian Gulf, the Gulf of Oman and the Arabian Sea and, as such, there is no land-locked country in this region. The areas located along the Mediterranean coast lines display lower temperatures and more rainfall resulting in a more moderate climate when compared to the hot inland deserts.

Population densities in MENA are largest in semi-arid to humid regions, or where irrigation systems are present. Irrigation systems are mainly concentrated in the Nile Delta in Egypt, where it covers 60–80% of the surface area (World Bank, 2007), in the central part of Iraq, and scattered throughout Iran. Despite the presence of some humid regions and irrigation systems, the MENA region faces many challenges.

The countries of the Near East region have been grouped in three sub-regions based primarily on geographic and hydro-climatic similarities. These sub-regions are referred to as North Africa (Algeria, Egypt, Libyan Arab Jamahiriya, Mauritania, Morocco and Tunisia), Arabian Peninsula (Bahrain, Kuwait, Oman, Qatar, Saudi Arabia, United Arab Emirates and Yemen), and Middle East (Islamic Republic of Iran, Iraq, Jordan, Lebanon and Syrian Arab Republic). Even though hot and dry weather prevails across the Near East region, there is a great variety in the physical geography of this vast area. The region is characterized by the presence of long coastal lines, vast deserts, rivers, and mountain ranges with resulting diverse hydro-climatic conditions. Some of the main transboundary rivers in the region originate outside of the Near East with their water flows generated from places like eastern Turkey (Tigris-Euphrates) and the Ethiopian highlands and great lakes of humid Africa (River Nile).

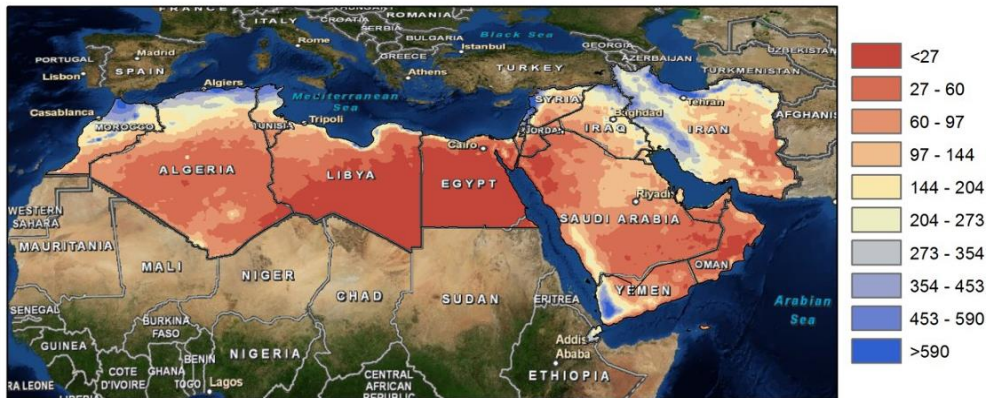
The largest challenge in the MENA region is that countries have to manage an unusual combination of a low annual precipitation that is at the same time highly variable. Three groups of countries can be identified:

- (i) Countries that on average have adequate quantities of renewable water, but the within-country and within year variations are problematically large. These include Djibouti, Iran, Lebanon, Morocco, Tunisia, and the West Bank.
- (ii) Countries with consistently low levels of renewable water resources. Therefore, these countries are highly dependent on non-renewable groundwater sources and supplies by desalination of sea water. These countries include Bahrain, Gaza, Jordan, Kuwait, Libya, Oman, Qatar, Saudi Arabia, the United Arab Emirates, and Yemen.
- (iii) Countries that mainly dependent on the inflow of transboundary rivers such as the Nile, the Tigris, and the Euphrates. These countries include Syria, Iraq, and Egypt (World Bank, 2007).

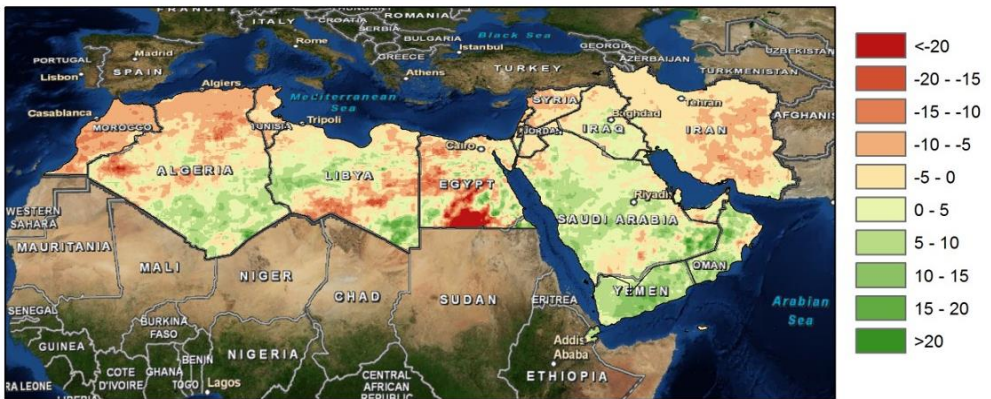
In Figure 9, it is clear that in the majority of countries the annual precipitation sum for the current climate is low. Especially in Libya and Egypt the annual precipitation sum is very small (<25 mm). The wetter areas are the coastal areas of Morocco, Algeria, Tunisia, Lebanon, Syria, Iran, and Yemen. Decreases in precipitation are nearly seen in every country for the period 2020–2030, with the largest decreases found in southern Egypt, Morocco, the central and coastal areas of Algeria, Tunisia, central Libya, Syria, and in the central and eastern part of Iran. Decreases are in the range of 5–15% for most countries, with a decrease of more than 20% in southern Egypt. In several regions, also increases in precipitation are noticed. Increases are in the range of 0–20%. It should be noted that the annual precipitation sum in these regions is very low, meaning that an increase of, for example, 20% in southeast Libya means an annual increase of roughly 5 mm.

For 2040 through 2050 we see a larger decrease in precipitation for the majority of countries than for 2020 through 2030. Especially in Morocco, the central and northern part of Algeria, Tunisia, Syria, the southern and central part of Saudi Arabia, the northern part of Iraq, and in Iran, precipitation has decreased with respect to the current climate and 2020–2030. (Terink et al., 2013)

Precipitation current climate [mm]



Precipitation anomaly 2020-2030 [%]



Precipitation anomaly 2040-2050 [%]

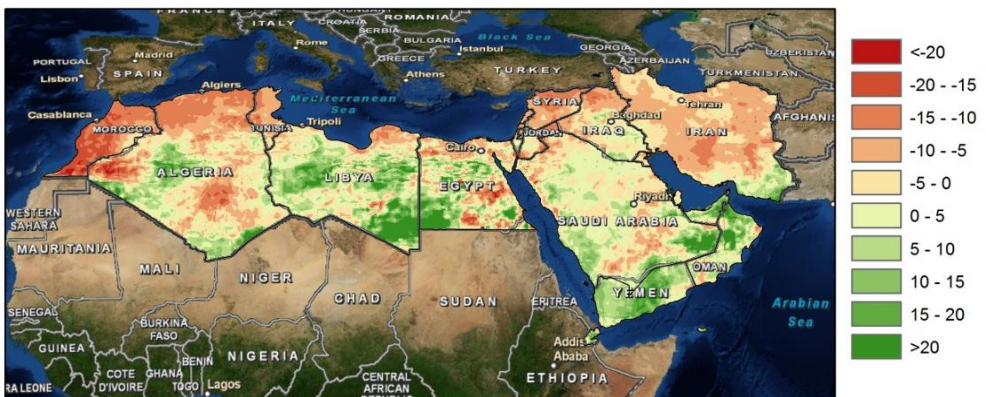


Figure 9 Spatial patterns of precipitation projections. Top: Average annual precipitation sum of the current climate. Middle: Precipitation anomalies of 2020–2030 with respect to the current climate. Bottom: Precipitation anomalies of 2040–2050 with respect to the current climate. (Walter et al., 2011).

If we consider the temperature projections (Figure 10) then it is clear that the MENA region is characterized by high average annual temperatures. Very high temperatures are found in the southwestern part of Algeria, the western and eastern part of Saudi Arabia, in Yemen, in Oman, and in the southern part of Iran. Temperature projections for 2020-2030 indicate a rise in temperature throughout all countries. The smallest increases in temperature ($<0.15^{\circ}\text{C}$) are found in North Libya, North Egypt, Israel, Lebanon, Jordan, and West Syria. The largest temperature increases ($>0.65^{\circ}\text{C}$) are found in the northern part of Morocco and Algeria, South Algeria, the southern part of Saudi Arabia and Iran, and in the central and northern part of Yemen and Oman.

Temperature projections for 2040-2050 indicate an even larger increase in temperature throughout the MENA region. An increase of more than 1.7°C is not an exception. These findings are higher than the global average (Figure 1.3). The smaller temperature increases are found in the same regions as in the period 2020-2030. Large temperature increases ($>1.5^{\circ}\text{C}$) are found in the northern part of Morocco and Algeria, central and South Algeria, the central and southern part of Saudi Arabia, and in the northern part of Iraq, Iran and Yemen.

Much of the land area in the Near East region is covered by deserts. The Sahara Desert stretches from the Red Sea in the east to the Atlantic Ocean in the west, representing more than 90% of the landmass of Northern Africa. The Rub Al Khali Desert, known also as the Empty Quarter, covers an area 1,000 km long and 500 km wide in the South of the Arabian Peninsula. There is also the Nefud Desert in the northern part of the Arabian Peninsula. Other main deserts in the region include the Dasht-e Kavir and Dasht-e Lut deserts which cover large parts of east central and north sections, respectively, of the Islamic Republic of Iran. The Near East region has many internal mountains as well as several mountain ranges rising to various elevations. These include Tebetsy Mountain in Libya with the highest peak of 3,000 meters. The Atlas Mountains range in North Africa which stretches across much of Morocco, northern Algeria and part of Tunisia has its peak in Morocco at an elevation of 4,165 meters. The Zagros mountain chain in the Islamic Republic of Iran reaches 4,432 meters at its peak. Other mountain ranges in the region include those in Lebanon and Yemen with highest elevations at just over 3,000 and 3,268 meters, respectively

Walter et al (2011) consider the anomalies for 2020-2030, then we notice a slight increase in annual reference evapotranspiration. This increase is in the range 0-1% for the largest part of the countries. Despite the lowest values of annual reference evapotranspiration found in the coastal areas, these areas are exposed to the largest (up to more than 9%) increase in annual reference evapotranspiration. In some countries, like for example in Algeria, Libya, Egypt and Jordan, we see a small decrease in annual reference evapotranspiration. This is caused by the range between the maximum and minimum temperature for the selected random year,

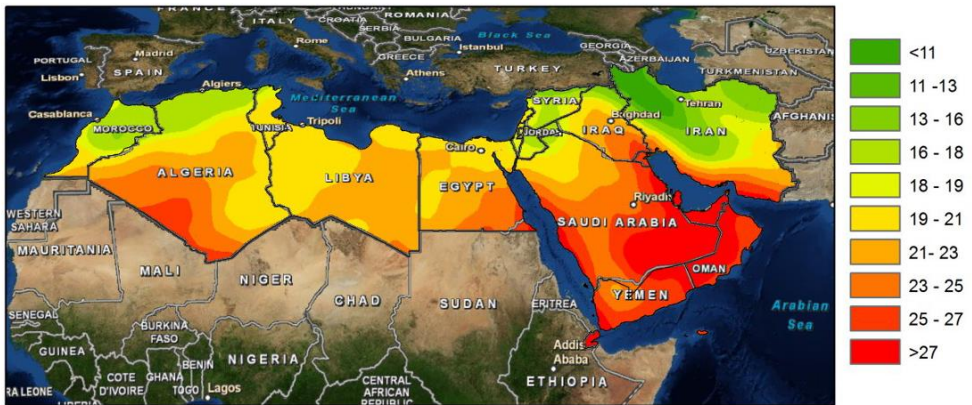
For 2040-2050 there is an increase in annual reference evapotranspiration in all countries, except for some small regions in Morocco, Libya, and Egypt. Again, these decreases are very small. The highest increases are again found in the coastal regions, with increases of more than 9%.

The MENA region is home to some of the poorest and most malnourished people in the world. An estimated 70% of the poverty is found in rural areas although only about 43% of the total population (over one billion) lives there. Cereals provide the largest component of the human diet in the region, while livestock production, often the major income earning activity in marginal areas, is increasingly dependent on supplementary feeding of grain.

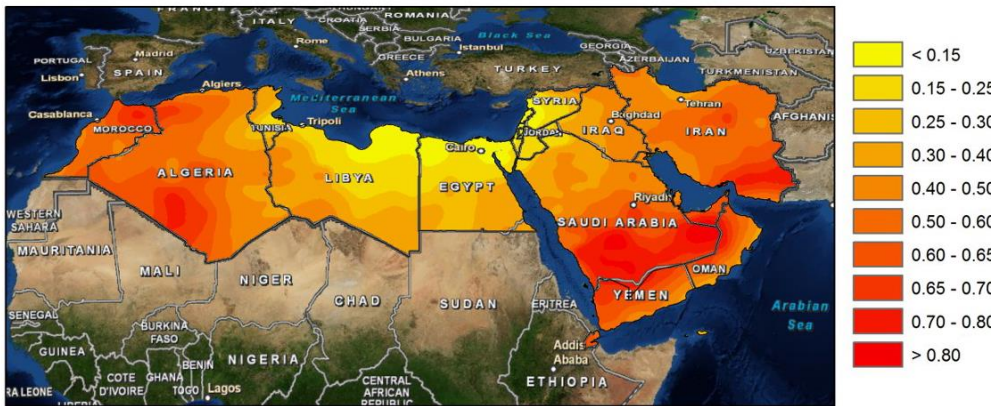
The region already has the highest level of imports of food grain globally. Demand will rise while regional production will be increasingly affected by water scarcity. In order to assess the scope and impacts of water scarcity and droughts in the MENA region, we should give an in depth assessment of the current situation with regards to water scarcity and droughts, and consists of data collection of information at river basin or local level, and we should give also give an inventory of measures taken by MENA countries to manage water scarcity and droughts in proactive and reactive ways.

The last climate variable of interest is the reference evapotranspiration (Figure 11). A clear pattern of annual reference evapotranspiration is observable for the current climate. The coastal areas have the smallest annual reference evapotranspiration, while moving inland the reference evapotranspiration becomes higher. The largest annual reference evapotranspiration values ($>2200\text{ mm}$) are found in South-West Algeria, South Egypt, Djibouti, the southeastern part of Saudi Arabia, the southern part of Iraq and Iran, North-East Yemen, and West Oman.

Temperature current climate [°C]



Temperature anomaly 2020-2030 [°C]



Temperature anomaly 2040-2050 [°C]

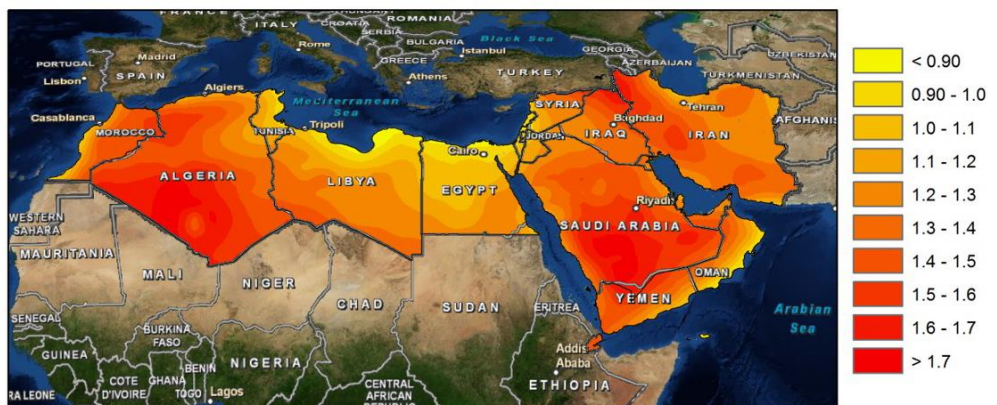
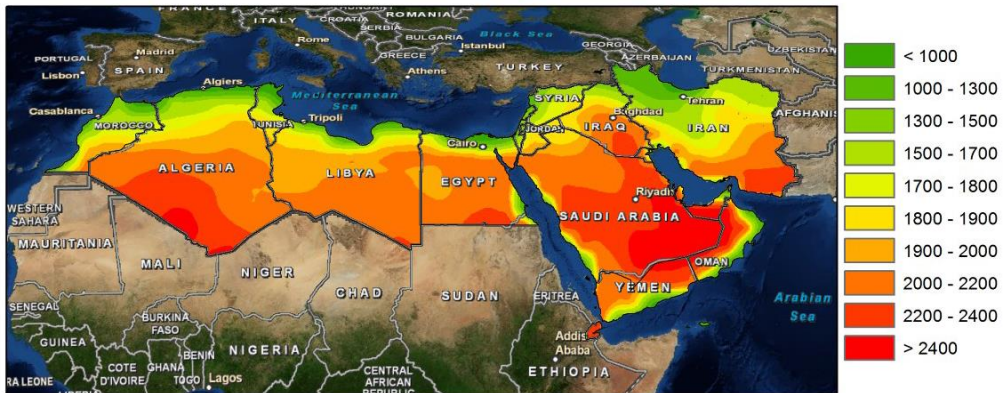
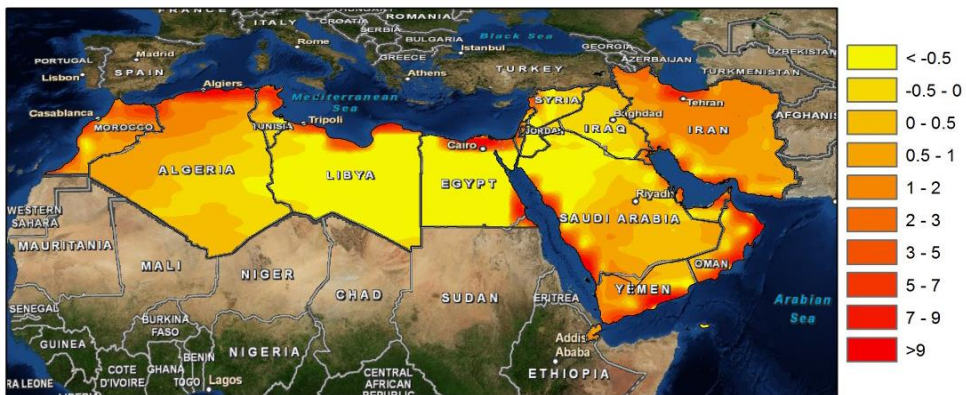


Figure 10. Spatial patterns of temperature projections. Top: Average yearly temperature of the current climate. Middle: Temperature anomalies of 2020-2030 with respect to the current climate. Bottom: Temperature anomalies of 2040-2050 with respect to the current climate. (Walter et al., 2011).

Reference evapotranspiration [mm]



Reference evapotranspiration anomaly 2020-2030 [%]



Reference evapotranspiration anomaly 2040-2050 [%]

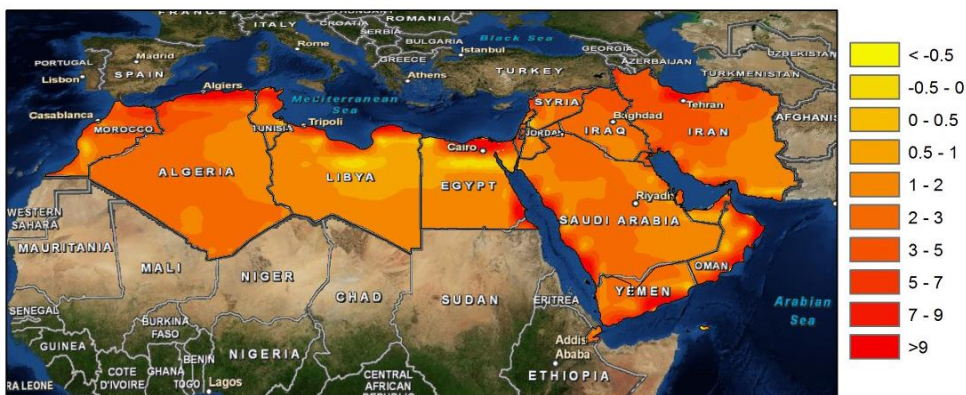


Figure 1.4 Spatial patterns of reference evapotranspiration projections. Top: Average yearly reference evapotranspiration sum of the current climate. Middle: Reference evapotranspiration anomalies of 2020-2030 with respect to the current climate. Bottom: Reference evapotranspiration anomalies of 2040-2050 with respect to the current climate. (Walter et al., 2011)

References

- [1] CREM, Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau-Département de l'Eau-Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) Gmb H, Etat des lieux du secteur de l'eau au Maroc, 2018. Projet "CREM" Coopération Régionale pour une Gestion Durable des Ressources en Eau au Maghreb.
- [2] Dugué, P.E. Valette, Des agriculteurs marginalisés au cœur des villes : le cas de Meknès (Maroc), GREP, Pour (2015) 61–67.
- [3] Friedel MJ. 2008. Inventory and Review of Existing PRISM Hydrogeologic Data for the Islamic Republic of Mauritania, Africa. USGS Open-File Report 2008–1138. World Bank. (2017a). Tunisia WASH and poverty diagnostic. Phase 3 report: Synthesis and policy. Recommendations. Report no: ACS17905.
- [4] Gaaloul N., 2021. Water Resources and Climate Change from History to Covid'19 in the MENA Regions: Impact of the coronavirus (covid-19) on the environment and water resources. Langue du livre: Anglais. ISBN: 978-620-4-71658-9. Publisher: LAP LAMBERT Academic Publishing 368 pages. <https://www.morebooks.de/store/fr/book/water-resources-and-climate-change-from-history-to-covid-19-vaccines/isbn/978-620-4-71658-9>
- [5] Mayaux, P.I. A. Massot, Entre décharge participative et Etat développeur : des élites locales marocaines enquête de légitimité, Gouvernance 7 (1) (2019) 84–109.
- [6] Ministère des ressources en eau. 2010. Plan national de l'eau, (2010), p.64.
- [7] Ministère des ressources en eaux. 2017. Nouveau modèle de croissance économique. Stratégie du secteur de l'eau à l'horizon 2035, (2017), p.77.
- [8] Ministry of Agriculture (MOA), UNCCD, UNDP, GTZ. 2002. Lebanese Nation Action Program (LNAp). Beirut. 188pp.
- [9] MWR, CEDARE. 2014. Libya 2012 state of the water report, Monitoring & evaluation for water in North Africa (MEWINA) Project, Ministry of Water Resources, CEDARE. Abdudayem, A and Scott, A.H.S. 2014. Water infrastructure in Libya and the water situation in agriculture in the Jefara region of Libya. African Journal of Economic and Sustainable Development 3(1): 33-64.
- [10] Rahmani A, SE, Chibane B, Hallouz F, Boucefiène A (2015) Study of the relationship between drought index and Groundwater recharge, case of an aquifer in a semi-arid area –the region of Djelfa (Algeria). In: Hydrologie des grands bassins africains, Hammamet - Tunisie 26 – 30 October 2015
- [11] Rahmani A, SE; Bouderbala A, Chibane B. 2020. Overview of Water Resources in Steppe Regions in Algeria. Part of the The Handbook of Environmental Chemistry book series (HEC, volume 98) In Water Resources in Algeria - Part II pp 241-252
- [12] Salem, O.M. 1992. The Great Manmade River project: a partial solution to Libya's future water supply. International Water Resources Development 8(4): 270-278.
- [13] Salem, OM. 1998. Appendix 5: Country Case Study – National Water Policy Review, and Management of Water Scarcity in the Libyan Arab Jamahiriya. Proceedings of the Second Expert Consultation on National Water Policy Reform in the Near East. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/docrep/006/ad456e/ad456e0c.htm>
- [14] Tanouti, O., F. Molle, Réappropriations de l'eau dans les Bassins Versants Surexploités. Le Cas du Bassin du Tensift (Maroc), Etud. Rurales 192 (2) (2013) 79–96.
- [15] Terink, W., Willem Immerzeel W and Droogers, P. 2013. Climate change projections of precipitation and reference evapotranspiration for the Middle East and Northern Africa until 2050. International journal of climatology Int. J. Climatol. (2013) Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.3650
- [16] UNDP (2007/2008) Human development report 2007/2008, fighting climate change: human solidarity in a divided world. UNDP, New York



The African Development Bank has invested more than \$6 billion in water and hygiene improvements over the last 10 years in regional member countries. The population will more than double from 1.3 billion to 2.5 billion in Africa by 2050. An estimated 884 million people in the world do not have access to clean and safe water whilst 37% of those people live in sub-Saharan Africa. It's well-established that water is critical to mitigate inequality and curb disease outbreak. For every \$1 invested in basic sanitation up to \$5 is returned in saved medical costs and increased productivity and jobs are created along the entire sanitation chain.

Here are some recommendations:

- **City-regions:** urban planning and management experts need to be informed of the risks to the natural water cycle and flow regimes, placing the right incentives and regulations to manage city expansion. Planning within the regional context can generate immense cost savings. It requires working with regional land authorities and ensuring that land-use plans are enforced to prevent indiscriminate development.
- **Vulnerable communities:** providing safe, sustainable and resilience water and sanitation must be a centerpiece of urban resilience efforts. This will require massively scaled investment to improve the coverage, safety and affordability of these services -prioritizing the most water-insecure communities. To better understand local risks and solutions, cities and utilities will need to integrate local data, knowledge and community participation, bringing together geospatial data that focuses on physical infrastructure and risks to assets with socioeconomic data to identify the most vulnerable areas and communities.
- **Investment funding:** in 2018 the African Development Bank (AfDB) found that the continent needs to spend at least \$ 130 - 170 billion to address an infrastructure backlog -including as much as \$66 billion on providing universal access to water and sanitation- but there is a financing gap of \$68 billion. While this is a high level of investment need, the potential benefits are much higher. The Global Commission on Adaptation's report indicates that investment in water-related adaptation has benefit-cost ratios that range from 2:1 to 10:1.

Water resources management will be critical in Africa, home to the world's highest urbanization rate. About 56% of the population will live in cities in 2050. Hence Governments, Africa's partners, civil society and businesses need to join forces to address water issue in particular in sub-Saharan Africa where individual sanitation accounts for 80% of the industry.

Martin CAMARA
Trade Advisor
PORT-UP

PORT-UP • www.port-up.fr



REPUBLIC OF TUNISIA



International Conference-Training (ESC'2022)

From 7 to 12 November 2022 Hammamet (Tunisia)



Water resources, Health and Climate Change



E_{water} H_{health} C_{Climate} '2022

Water-Health-Climate'2022

«Ce qui compte c'est demain»

If you have any questions, don't hesitate to Contact Pr.
Noureddine GAALOUL
E-mail: eauclimat@yahoo.com
eauclimat@iresa.agrinet.tn



Abd. Rim

2022



Colloque-Formation International Eau-Santé-Climat'2022

Ressources en Eau, Santé et Changement Climatique

07 au 12 Novembre 2022, Hammamet (Tunisie)

www.jistee.org

Eau-Santé-Climat'2022

Pour plus d'informations veuillez contacter

Pr. Noureddine GAALOUIL

E-mail: eauclimat@iresa.agrinet.tn

eauclimat@yahoo.com

"Ce qui compte c'est demain"



This book reviews the latest information on the assessment of surface and groundwater resources, climate change and Covid-19 vaccines in the MENA regions (Middle East and North Africa): from History to Covid-19 vaccines (April 2021). It summarized the country profile of the Middle East and North Africa of key information that gives an overview of the water resources and water use at the national level. This book is an important contribution about countries from a region of crucial importance for water management. Physical, natural, socio-economic, and political constraints make this region a sort of "laboratory" for water management around the world. This book is aimed at students, academics, researchers, engineers and managers who wish to develop an in-depth understanding of various topics relevant to sustainably managing water resources. It discusses a wide variety of topics, including water, Climate Change and Covid-19. It is assumed that the reader has a basic knowledge of water resources. The book is a resource for researchers and engineers working on water resources in MENA regions. It serves as an access point to the scientific literature.

Prof. Nouredine Gaaloul



Nouredine Gaaloul

Water Resources and Climate Change from History to Covid-19 Vaccines

in the MENA regions (Middle East and North Africa)



Nouredine Gaaloul is Professor of Higher Education and Full Research at the National Research Institute for Rural Engineering, Water and Forestry. He is Founder and Chief Editor International Journal Water Science and Environment Technologies. He is Member of the Scientific Advisory Committee Member of the Climate Research for Development (UNECA).

FOR AUTHOR USE ONLY

Nouredine Gaaloul



<https://www.morebooks.de/store/fr/book/water-resources-and-climate-change-from-history-to-covid-19-vaccines/isbn/978-620-4-71658-9>

https://www.morebooks.shop/bookprice_offer_2d8af3cb6075abfd6b89d0bf8095f8c1e5beaa11?locale=gb%C2%A4cy=EUR

www.jistee.org

jistee@iresa.agrinet.tn

jistee@yahoo.com

Page 98



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

06 Volumes, 19 Numéros, (310 Articles)

06 Volumes, 19 Issues, (310 Papers)

International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Copyright © 2021 – Jistee Tous droits réservés





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

Appel à contributions : Prochain numéro la revue Scientifique : JISTEE – Mars 2022

Nous coordonnons la rédaction, du numéro mois de Mars 2022 “Eau- Santé – Climat”, (ESC-2022), qui vous est ensuite offert gratuitement en format pdf.

Le thème retenu pour 2022 est “Eau- Santé – Climat”, en vous rappelant, si besoin en était, que le changement global couvre à la fois le changement climatique et les changements anthropiques (variations d'occupation des sols et aménagements des bassins versants, prélèvements, etc.).

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

Les contributions seront attendues pour le courant du mois de Février 2022 afin de pouvoir être révisées par le Comité Scientifique International et que la mise en forme du numéro ait lieu en Février 2022 au plus tard.

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



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

Call for contributions: Next issue of the Scientific review: JISTEE – January 2022

International Journal of Water Science and Environment Technologies

We are pleased to inform you that the Vol 7, No 1 of International Journal of Water Science and Environment Technologies is available at <https://jistee.org/volume-vi-2021/>

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

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

to our online direct submission area, located here:

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

International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)



Volume (VI) - Issue 4 - [December 2021]

ISSN Online: 1737-9350

ISSN Print: 1737-6688

Open Access

WWW.iistee.org



International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

Invitation for Research Article – March 2022

Dear Researcher

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

We publish

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

Description :

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

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

With regards

Editorial Office

International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

JOURNAL INTERNATIONAL

Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement

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

Open Access

Volume (vi) - Numéro 4 – Décembre 2021

Eau-Agriculture-Climat'2021



Changement Climatique, Eau et Agriculture : Quelles Stratégies ?

Rédacteur en Chef : Pr Nouredine Gaaloul

Publié par:

L'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et
l'Environnement en Tunisie (ASTEE *Tunisie*)

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Open Access

Volume (vi) - Issue 4 – December 2021

Water-Agriculture-Climate'2021



Climate Change, Water and
Agriculture: What Strategies?

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

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