

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (viii) - Issue 1 – March 2023

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



**Water Scarcity, Rising Temperatures.
Facing Climate Change, from the Fight to
Adaptation?**

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

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

International Scientific Committee (ISC-WDC'2023)

<i>Noureddine Gaaloul</i>	<i>Prof. University of Carthage – IRESA - INRGREF (Tunisia)</i>
<i>Hamadi Habaieb</i>	<i>Prof. University of Carthage – IRESA -IN-AT (Tunisia)</i>
<i>Zouhaier Nasr</i>	<i>Prof. University of Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisia)</i>
<i>Mohamed Hachicha</i>	<i>Prof. University of Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisia)</i>
<i>Zouhaier Hlaoui</i>	<i>Prof. University of Tunis - Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis (Tunisia)</i>
<i>Adel Kharrabi</i>	<i>Prof. University of Gabès – ISSTEG (Tunisia)</i>
<i>Rachid Boukchicha</i>	<i>M.Conf. University of Gabès – ISSTEG (Tunisia)</i>
<i>Noureddine Hamdi</i>	<i>Prof. Université de Gabès – ISSTEG (Tunisia)</i>
<i>Taoufik Hermassi</i>	<i>M.Conf. University of Carthage – IRESA -INRGREF (Tunisia)</i>
<i>Mohamed Habib Sellami</i>	<i>M.Conf. University of Jendouba – IRESA- ESIM (Tunisia)</i>
<i>Hechmi Belaid</i>	<i>M. Assistant, University of Jendouba -IRESA- ESIM (Tunisia)</i>
<i>Rim Katlane</i>	<i>M.Conf. University of Manouba - Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités (Tunisia)</i>
<i>Ibrahim Amadou Traoré</i>	<i>Expert Hydrogeologist</i>
<i>Mohamed Meddi</i>	<i>Prof. ENSH, (Algeria)</i>
<i>Azzedine Hani</i>	<i>Prof. Univ. Annaba (Algeria)</i>
<i>Larbi Djabri</i>	<i>Prof. Univ. Annaba (Algeria)</i>
<i>Salah Eddine Ali Rahmani</i>	<i>Prof. University Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Algeria)</i>
<i>Saadane Djorji</i>	<i>Prof. University of Annaba (Algeria)</i>
<i>Mohammed Achite</i>	<i>Prof. University of Chlef (Algeria)</i>
<i>Abdelhalim Yahiaoui</i>	<i>Prof. University of Bechar (Algeria)</i>
<i>Mohamed Bessenasse</i>	<i>Prof. University of Saad Dahlab- Blida (Algeria)</i>
<i>Benadjji Noury</i>	<i>Prof. University of Tlemcen (Algeria)</i>
<i>Abdessamad Merzouk</i>	<i>Prof. University of Tlemcen (Algeria)</i>
<i>Beloulou Laroussi</i>	<i>Prof. University Badji Mokhtar, Annaba (Algeria)</i>
<i>Abdelhalim Yahiaoui</i>	<i>M.Conf. Univ. Bechar (Algeria)</i>
<i>Gnergazji Saadia</i>	<i>M.Conf. University of Biskra (Algeria)</i>
<i>Gwendouze Abdelhamid</i>	<i>M.Conf. University of Blida1 (Algeria)</i>
<i>Khoaldia Wacila</i>	<i>M.Conf. University of Souk-Abras (Algeria)</i>
<i>Belkacem Bekkoussa</i>	<i>M.Conf. University Mustapha Stambouli de Mascara (Algeria)</i>
<i>Ali Essablaoui</i>	<i>Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)</i>
<i>El Onali Abdelhadi</i>	<i>Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)</i>
<i>Abdellah El Hmadi</i>	<i>Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)</i>
<i>Imad Manssouri</i>	<i>Prof. University Moulay Ismail Meknes (Morocco)</i>
<i>Abdelmajid Mounem</i>	<i>Prof. University Nadour (Morocco)</i>
<i>Mbumed Amyay</i>	<i>Prof. University of Fès (Morocco)</i>
<i>Abdelaziz Abdallaoui</i>	<i>Prof. University Moulay Ismail (Morocco)</i>
<i>Nadia Lablou</i>	<i>M.Conf. University Mohamed V Rabat (Morocco)</i>
<i>Amadou Thierno Gaye</i>	<i>Prof. University of Cheikh Anta Diop, Dakar, (Senegal)</i>
<i>Sousou Sambou</i>	<i>Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Senegal)</i>
<i>Diop Ngom Fatou</i>	<i>Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Senegal)</i>
<i>Abdoulaye Faty</i>	<i>Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Senegal)</i>
<i>Soro Nagnin</i>	<i>Prof. UFR STRM (Ivory Coast)</i>
<i>Gnamba Franck Maxime</i>	<i>Prof. UFR STRM (Ivory Coast)</i>
<i>Soro Nagnin</i>	<i>Prof. UFR STRM (Ivory Coast)</i>
<i>Cish Ngonzo Lawesi</i>	<i>Prof. Univ. Dem. Rep. (Congo)</i>
<i>Koussoubon A. Leonard</i>	<i>Prof. FLLAC/ UAC (Congo)</i>
<i>Koumassi Dègla Hervé</i>	<i>Prof. LACEEDE/ UAC (Benin)</i>
<i>Hamma Yaacoub</i>	<i>Prof. 2IE (Burkina Faso)</i>
<i>Harouna Karambiri</i>	<i>Prof. 2IE (Burkina Faso)</i>
<i>Lienou Gaston</i>	<i>Prof. Univ. Yaoundé (Cameroun)</i>
<i>Gnandi Kissao</i>	<i>Prof. Univ. Lomé (Togo)</i>
<i>Hamadoun Bokar</i>	<i>Prof. Univ. ENI-abt (Mali)</i>
<i>Salina Sanou</i>	<i>Pan African Climate Justice Alliance (Kenya)</i>
<i>Saeid Eslamian</i>	<i>Prof. University of. Isfahan (Iran)</i>
<i>Amadou Gaye</i>	<i>Prof. CR4D (Ethiopia)</i>
<i>Richard Anyah</i>	<i>Prof. CR4D (Ethiopia)</i>
<i>Benjamin Lamptey</i>	<i>Prof. CR4D (Ethiopia)</i>
<i>Aqeel Al-Adili</i>	<i>Prof. Univ. Technology (Iraq)</i>
<i>Moumtaz Razack</i>	<i>Prof. University of Poitiers (France)</i>
<i>Lucila Candella</i>	<i>Prof. Univ. Catalonia (Spain)</i>
<i>Fotis K. Pliakas</i>	<i>Prof. Univ. Thrace (Greece)</i>
<i>Andreas Kallioras</i>	<i>Prof. Univ. Athens (Greece)</i>
<i>Christoph Schüth</i>	<i>Prof. Tech.Univ. Darmstrad (Germany)</i>
<i>Jean-François Deligge</i>	<i>Prof. University of Liège (Belgium)</i>
<i>Meriam Gaaloul</i>	<i>Faculty of Architecture La Cambre Horta - ULB (Belgium)</i>

Preface



W

ater – at the center of the climate crisis

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

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

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

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

Nouredine Gaaloul

Professor of higher education and full Researcher in the National Institute of Research in Rural Engineering of Water and Forestry (University of Carthage- IRESA- INRGREF-Tunis).
Founder and Chief Editor International Journal Water Science and Environment Technologies
President of Scientific and Technical Association for Water and the Environment in Tunisia (ASTEE ^{Tunisie})
www.jistee.org



International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

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

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

Open Access

08 Volumes, 24 Issues, (356 Papers) and 1 Book



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

Volume (viii): 4 Issues (Papers) Water -Drought-Climate'2022
Issue 1 – March 2023 (6 Papers) *Climate change: What effects on our health?*

Volume (vii): 4 Issues (32 Papers) Water -Health-Climate'2022
Issue 1 – March 2022 (7 Papers) *Climate change: What effects on our health?*
Issue 2 – June 2022 (10 Papers) *Impacts of Climate Change on Water, Ecosystems and Human Health*
Issue 3 – September 2022 (7 Papers) *Water, Climate, Health, Disparities: Solutions*
Issue 4 – December 2022 (8 Papers) *Climate Changes Health: Water Quality and Accessibility*

Volume (vi): 4 Issues (31 Papers) Water -Agriculture-Climate'2021
Issue 1 – April 2021 (11 Papers) *Faced with climate and food issues: Reinventing Water-Agriculture-Climate relations*
Issue 2 – June 2021 (6 Papers) *Climate Change, Water, Agriculture - What trajectories?*
Issue 3 – September 2021 (6 Papers) *Climate Change, Water and Agriculture Towards Resilient Systems*
Issue 4 – December 2021 (8 Papers) *Climate Change, Water and Agriculture: What Strategies?*

Volume (v): 2 Issues (27 Papers) Water -Climate'2020
Issue 1 – September 2020 (14 Papers) *Water Resources and Climate Change.*
Issue 2 – Décembre 2020 (13 Papers) *Integrated Water Resources Management and Climate Change*

Volume (iv): 2 Issues (68 Papers) Water -Energy-Climate'2019
Issue 1 – December 2019 (56 Papers) *Integrated Water Resources Management*
Issue 2 – December 2019 (12 Papers) *Renewable Energies and climate change*

Volume (iii): 3 Issues (103 Papers) Water -Environnement-Climate'2018
Issue 1 – April 2018 (62 Papers) *Water Resources Management*
Issue 2 – August 2018 (34 Papers) *Environmental Earth Sciences*

Volume (ii): 5 Issues (53 Papers) Water -Society-Climate'2017
Issue 1 – February 2017 (17 Papers) *Qualitative and quantitative characterization of water resources.*
Issue 2 – April 2017 (8 Papers) *Assessment of water resources under pressure from humanity and climate change*
Issue 3 – June 2017 (9 Papers) *Vulnerability of Water Resources to Climate Change.*
Issue 4 – August 2017 (8 Papers) *Modeling the impact of anthropogenic and climatic changes on water resources*
Issue 5 – October 2017 (11 Papers) *Numerical Modeling in Hydraulics, Hydrology and Hydrogeology*

Volume (i): 3 Issues (36 Papers) Water -Climate'2014
Issue 1 – April 2014 (17 Papers) *Surface Water Resources in the Mediterranean Region.*
Issue 2 – August 2014 (8 Papers): *Ground Water Resources in the Mediterranean Region*
Issue 3 – December 2014 (11 Papers) *Climate Change in the Mediterranean Region*

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés



Table of Contents

Assessment of anthropogenic activities impact on the water balance by applying hydrological model Orchy II within the Tassaout basin (upstream of Moulay Youssef dam) (1986-2010) (Morocco) Chakir Mohamed (<i>University of Sultan Moulay Slimane-Morocco</i>), Ouakhir Hassan, Ghabbane Omar and El Ghachi Mohamed	5
Socio economic impacts of Hydrological Hazards and Disasters in Tunisia Noureddine Gaaloul (<i>University of Carthage – INRGREF - Tunisia</i>), Sacid Eslamian and Rim Katlane	17
La qualité physico-chimique de l'eau de consommation dans la zone d'Illet au Kenya Thomas Kayobola Kangombe (<i>Institut Supérieur de Développement Rural de Kindu</i>)	54
Optimisation Des Modes De Gestions Des Services D'eaux Dans Un Contexte De Decentralisation De La Desserte Dans Les Communes Rurales Sub-Sahelienne D'afrique Cas De Betare-Oya Est-Cameroun Okounou Banyomo Raymond (<i>Université de Dschang -Cameroun</i>) Bah Ntutuwouo Gael Didier,- Njogi Bella Anne Rosine Eve and Akoke Abem David Xavier,	61
Les eaux de sources embouteillées en Algérie : rétrospectives et perspectives Zella lakhdar (<i>Université de Blida Algérie</i>)	76
Caractérisation et modélisation par GEV de la variabilité climatique sur les ressources en eau dans la région de Kaolack au Sénégal Ibrahima Touré (<i>l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Dakar</i>), Mamadou Sarr ² , Issa Leye ¹ , Soussou Sambou ¹	85

www.jistee.org

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

Chakir Mohamed, Ouakhir Hassan, Ghabbane Omar and El Ghachi Mohamed.
Assessment of anthropogenic activities impact on the water balance by applying hydrological model Orchy II within the Tassaout basin (upstream of Moulay Youssef dam) (1986-2010) (Morocco)

International Journal Water Sciences and Environment Technologies

Vol. (viii), Issue. 1, March 2023, pp. 5-16

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited

Received: 12 January 2023 / Revised: 25 February 2023 / Accepted: March 2023 / Published: March 2023

Assessment of anthropogenic activities impact on the water balance by applying hydrological model Orchy II within the Tassaout basin (upstream of Moulay Youssef dam) (1986-2010) (Morocco)

Chakir Mohamed¹, Ouakhir Hassan¹, Ghabbane Omar¹ and El Ghachi Mohamed¹

¹Laboratory Dynamics of Landscapes and Heritage, Department of Geography, Sultan Moulay Slimane University, FLSH of Béni Mellal, Morocco.

Abstract

The Tassaout basin is located in the Central High Atlas of Morocco. It belongs to a semi-arid climatic context, is characterized by a low rainfall. The region is suffered from an increasing demand of water despite its scarcity and its unequal distribution due to the climate change effect observed at global scale. The purpose of this contribution is to release a monthly quantification of the hydrological balance basing on the hydrometric gauging stations of Tamsemt and Ait Tamlil. This latter considers the anthropogenic factors in order to quantify the irrigation water abstraction by adopting the Hydrological model Orchy II which considers the most important variables that could influence the hydrological functioning of the basin, namely precipitation, evapotranspiration, flow and above all anthropogenic impact. The model has proven its effectiveness in term of the analysis of the elements of the hydrological balance sheet and in showing the anthropic impact on the hydrological functioning of the basin, where water samplings represent 14% of the annual module.

Key Words: Tassaout basin (upstream of the dam Moulay Youssef), Hydrological model, Hydrological balance, Anthropogenic impact.

INTRODUCTION

In the context of the growing needs for water resources especially in semi-arid climate regions, and taking into account the important development that Morocco has experienced in the field of water resources management, this article aims to contribute effectively to carry out a hydrological balance of the study area, analysing the relation between the rainfall and the flow, and try to consider all the natural and human variables. The studied basin considered as an edifying example for the study of hydrological functioning, from a hydro-climatic study of the basin, and from the development of a hydrological balance based on the quantification of three key climatic parameters; precipitation, flow and evapotranspiration. The study of flow is mainly associated with the question of climatic and anthropogenic factors of the basin, which generate complex changes in time and space.

This work is a contribution to the development of a hydrological balance of the basin, based on the quantification of water resources, using the Orchy II hydrological model, which presents a complex system making it possible to approach the functioning of the water cycle in the basin, based on climatic variables (P, Q and ETP) (El Ghachi, 2014), and to take into account the anthropogenic impact on water resources, and to identify its operation in the basin.

The Orchy II model, like all other models, allows an interpretation of reality within a conceptual framework based on simplifications and approximations of reality. Besides, the link between the model and the real world is based on the data that characterize the latter (Perrin, 2000). Our choice fell on this conceptual model with reservoirs, because it answers our concerns of representation of the hydrological cycle because it integrates the complex factors while trying to describe the physical concept of the behaviour of the system by a simpler representation (Makhlouf, 1994).

¹ Corresponding author: chakirmohamed.doc@hotmail.com

PRESENTATION OF THE STUDY AREA

The Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam) covers an area of 1307 km². It belongs to the mountainous chain of the Central High Atlas, located in the South-East of Oum Er-Rabia basin. It is characterized by a variation in altitudes ranging from 920 to 3978 a.s.l, with a steep slope of 21.5%, a small extent of vegetation which represents 24% of the overall surface of the basin and which mainly occupies its downstream (fig.1). A geological substratum composed essentially by sandstone and limestone permeable (El Khalki, 1990), which belong to the Triassic and Lias sedimentary series located in the upstream of the studied basin, and of schist, clay, dolomite impermeable, which belong to the sedimentary series of the Triassic downstream of the basin (Couvreur, 1988).

The study area is rich in karst limestone formations revealed through the scattered springs, which play an important role in the region by supplying the river and the population with drinking and irrigation water. The basin has a less dense hydrographic network with a drainage density (Dd = 4.2 Km² / Km) (Strahler, 1957), the right bank is characterized by fairly short and fewer tributaries, often temporary, the most important tributaries are on the left bank (Fig.1).

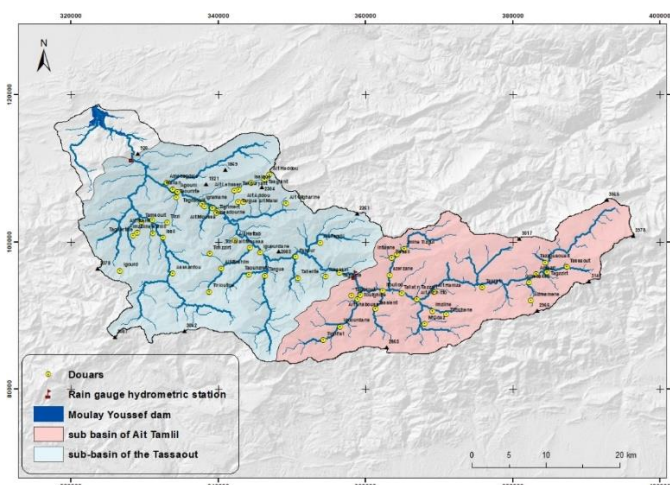


Fig. 1. Localisation of the Tassaout basin within Oum Err Bia Basin (upstream of the Moulay Youssef Dam). The climate of the basin is Mediterranean with oceanic and continental influences. with very high summer maximum temperatures and lower minimum temperatures than those recorded on the coast. The influence of altitude becomes predominant, and rainfall increases again from the down to the peaks of the Atlas (ABHOER, 1972).

However, the difficulties encountered for a better management of water resources are crucial, given the climatic changes that the world has experienced in general, and the arid and semi-arid zones, since the water balance can be influenced by natural factors. and humans.

The Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam) has undergone significant hydro-agricultural developments, giving rise to a massive expansion of irrigated agricultural activities. Human intervention had a remarkable impact on the hydrological functioning of the watercourse, and consequently on the filling of the Moulay Youssef Dam.

Thus, human activities are major global issues:

- Human action (development of watercourses, abstraction, etc.) modifies the parameters of this cycle and induces quantitative changes in the flow;
- These quantitative degradations have an impact on water resources and their availability.

Faced with the problem of water scarcity, particularly due to climate change and increased demand for water, efficient and rational management of the resources of this vital material remains the only way to escape this critical situation.

METHODOLOGY AND DATA

Data analysis

To study the impact of anthropogenic factors and climate change on the water balance, it was necessary to highlight and better understand the basin, through a study of hydrological functioning, by analysing the human-water resources relationships at basin (Mouhdi, 1993). In this context, we have focused on the study of the water resources available in the Tassaout basin, using a statistical and analytical methodology of the data available (Precipitation, flow, evapotranspiration, etc.). In a second step this work consists in estimating the abstractions in various uses, in order to deduce the impact of the current management of water resources in the basin on the hydrological balance and to highlight the water deficits or surpluses. However, an analysis of the water balance by adopting a hydrological model will be realized. The study area is equipped with two pluviometric stations and two hydrometric stations, equipped with a limnimetric scale and a water gauge. Ait Tamlil upstream of the basin and Tamsemat downstream of the basin, which are installed on the Tassaout river, and which are managed by the Oum Er Rbia Hydraulic Basin Agency. A single thermal station located outside the basin (Ait Segmine).

Representation and application of the Orchy II Model

Several models have been tried to model the hydrological balance (general model of the water balance, GR2M rural engineering model), but in this contribution we have chosen the OrchyII model, it is a simple overall conceptual model for the representation of the functioning of the water cycle. water in a basin, from climatic variables (P, Q and ETP). The model uses three reservoirs and 4 optimization parameters (Gille and Lang, 2004).

used is that of Thorntwaite added to a finish of (Gille, 1985). Thanks to computers, it was possible to establish the various terms of the water balance in a program carried out in Excel. It presents a complex system which makes it possible to approximate the functioning of the water cycle in the basin, from climatic variables (P, Q and ETP). The model also characterized by the possibility of integrating the anthropogenic influence on the flow.

The structure of this model can be broken down into two important elements which are the inputs and outputs of the model (Fig. 2). The model relates precipitation, potential evaporation (ETP), variations in soil reserve (DR) and the amount of water withdrawn

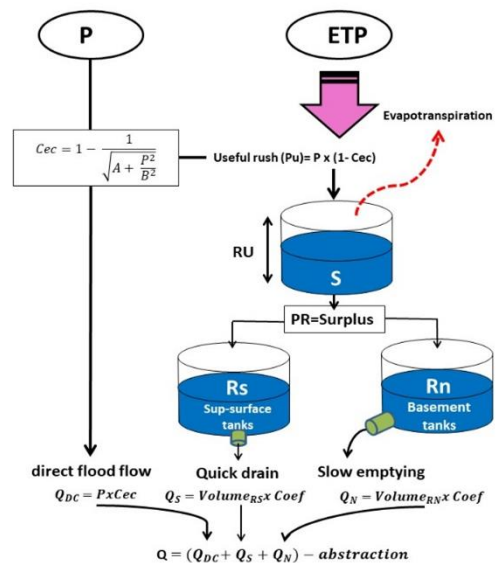


Fig. 2. Architecture of the Orchy II hydrological model in the Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam).

From this diagram, an attempt to explain the most important elements in the model will follow. The first stage of the model performs the production function, that is, the conversion of raw rain into net rain. This function therefore seeks to represent the interaction of precipitation with the soil to determine the proportion of rainfall that flows directly from that which infiltrate into the soil (Qadem, 2015). The production function is ensured by an RFF (Rapid Flood Flow) equation resulting from the formulation of Turc.

$$Q_c = 1 - \frac{1}{\sqrt{A + \frac{P^2}{B^2}}}$$

The values of A and B can be adjusted according to the seasons.

The transfer function, making it possible to generate the flood hydrograph from the net precipitation, is provided by 3 cascade reservoirs, the first of which is used to represent the water balance. This is a "soil tank" characterized by its maximum useful reserve (Ru). The variation of the useful reserve is ensured by an agro-climatic approach of the water balance. This approach can be broken down into three phases (Riou, 1975):

- Phase 1: $P < ETP$ then $ETR = P - RFF$, all the rain is used by evapotranspiration, the rain is the limiting factor.
- Phase 2: $P > ETP$ then $ETR_{max} = ETP$, it is the energy provided by the climate that is the limiting factor.
- Phase 3: $P < ETP$ then ETR obeys the law which reflects the increasing effort to extract water from the soil reserve as it dries up. $ETR / ETP = \exp [(-1 / RU) \int ETP dt]$ with Ru being the water reserve of the soil. In this case, it is the water reserve in the soil that is the limiting factor.

The inputs of the Orchy II model

The data necessary for the operation of the model are the monthly precipitation received by the basin, the monthly flow at the outlet as well as the average monthly evapotranspiration. The reconstitution of this database required prior data processing (Alley, 1985). The study period used is 1986-2010.

a-Precipitation : The rainfall data necessary for the operation of the model are the monthly rainfall contributions for the entire basin, from 1986 to 2010. The missing data in the series were completed by the correlation method (Dubreuil, 1974), which consists of verifying classical precipitation chronicles by correlations item by item and month by month. The precipitation inputs were estimated from the rainfall data recorded at the two climatic stations distributed over the basin by the rainfall gradient method (Boudhar, 2009). The Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam) was subdivided into two sub-basins, the Ait Tamllil sub-basin and the Tamsemat sub-basin, each of which has a specific area and its own natural and anthropogenic characteristics.

b-Evapotranspiration : ETP represents the total amount of water evaporated. This term includes physical evapotranspiration (from the soil, the water surface, etc.) and plant transpiration. Evapotranspiration is an essential factor in water balance models of basins. In these models, a mathematical formulation is generally used to estimate this factor, knowing the evolution of certain parameters characterizing the climate of the basin.

The formula which has been the subject of this study is that of (Thornthwaite and Mather. 1957), based on temperature data from the Ait Segmine station outside the basin to the north.

$$ETP = 16(10 - T/I)^a \cdot K$$

ETP : monthly evaporation in mm;

t : monthly average temperatures;

I : annual thermal index which is the sum of the twelve monthly values of i ;

K : Correction coefficient which is a function of the latitude of the place;

So

$$a = 0.016 \cdot I + 0.5 ;$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \quad \text{with} \quad i = (0.2T - 0.5) \cdot 1.514$$

Evapotranspiration data were also spatialized based on the thermal gradient equation (chronic from 1986 to 2013).

a- Flow data : The flow data available to us are those measured at the outlet of the basin at the level of the Tamsemat hydrometric station, and of the Ait Tamllil sub-basin at the level of the Ait Tamllil hydrometric station over the common period 1986-2010.

b- Water sampling : The basin is characterized by a very important human dynamic, and by traditional agricultural activities. In this study, we relied on the study of irrigated agricultural activities, which require large amounts of water. We therefore worked on a global assessment of water resources, which are taken directly from watercourses or sources and emergences, using the Seguias system, from an inventory and cartographic work, and based on data managed by the Provincial Directorate of Agriculture of Azilal (DPAA), followed by a field study to estimate the flows of the Seguias in order to determine the quantity of water withdrawn.



Fig. 3. Field work measurement and validation of Orchy II model (upstream of the My Youssef dam)

The length of the Seguias, through which water is distributed over irrigated agricultural areas over a total area of 4649 hectares, is 186 km (DPAA, 2014). Irrigation water towers range from 7 to 15 days and vary from season to season and year to year.

The main objective of this inventory is to estimate the quantity of water withdrawn, to understand the anthropogenic impact on hydrological functioning. The following table summarizes the estimate of the annual volume of water withdrawn.

Table 1. Estimated volume of water withdrawn at annual scale.

Type of seguia	Debit (l/s)	Sample volume (m ³ /year)	Sum (m ³ /year)
Perennial Seguia	1070	33743520	52371360
Temporary Seguia	880	18627840	

The flow rate of the water sampling ranges between 30 and 180 l / s-1, this volume of water must be considered in the hydrological balance of the basin.

3.4 - Orchy II model calibration parameters

To run the hydrological model, it was necessary to calibrate other parameters including the flood runoff coefficient, the dry-off coefficient, and the soil reservoir.

- The monthly rapid flood flow coefficient estimated according to precipitation.
- The soil reservoir, around 50 mm, which is the value generally retained for the Tassaout basin.

The proportion of the flow deferred to the following month for the rapid emptying tank (representing subsurface flows, perched water tables, soil drainage), with, where applicable, a monthly rapid emptying coefficient.

The monthly drying coefficient of the slow draining tank (representing the water tables).

However, this calibration remains a relatively delicate operation insofar as, on the one hand, these parameters are not calculated and, on the other hand, it was necessary to act jointly on the values of the monthly flow coefficients and the monthly coefficient drying up.

RESULTS

The results of hydrological modeling can be represented using the OrchyII model at the level of two-time steps. at the annual scale for the water balance and at the monthly scale for the flow regime. The setting of the parameters is linked, on the one hand, by the characteristics of the flow regime, which present a level of analysis of hydrological functioning, and on the other hand with the physiographic characteristics of the basin (El Ghachi, 2007).

The hydrological functioning at annual scale (1986-2010)

The Tassaout basin is treated as a system made up of several small catchments. This is the reason why we find the results with two hydrological balances which correspond to two sub-catchments, as well as the third hydrological balance which corresponds to the overall basin of the Tassaout. The table below explains the approach adopted, as well as the results obtained on an annual basis:

Table. 2. the Hydrological balance results of the study area at annual scale (Orchy2) (1986-2010).

Value (mm)	Tamsemat sub-basin	Ait Tamlil sub-basin	Basin of Tassaout (upstream of the My Youssef dam)
Precipitation (P)	631	696	663
Evapotranspiration Potential (ETP)	908	786	848
Real Evapotranspiration (REE)	374	356	369
Flood flow (QC)	136	92	209
Groundwater flow (QN)	241	163	119
Water transfer inside or outside the basin (Tr)	+120	-85	+34
Water withdrawn (Pr)	-48	-33	40-
Simulated flow	329	222	288
Measured flow	329	222	288

The results of the annual water balance for the Tassaout basin can be schematized as follows:

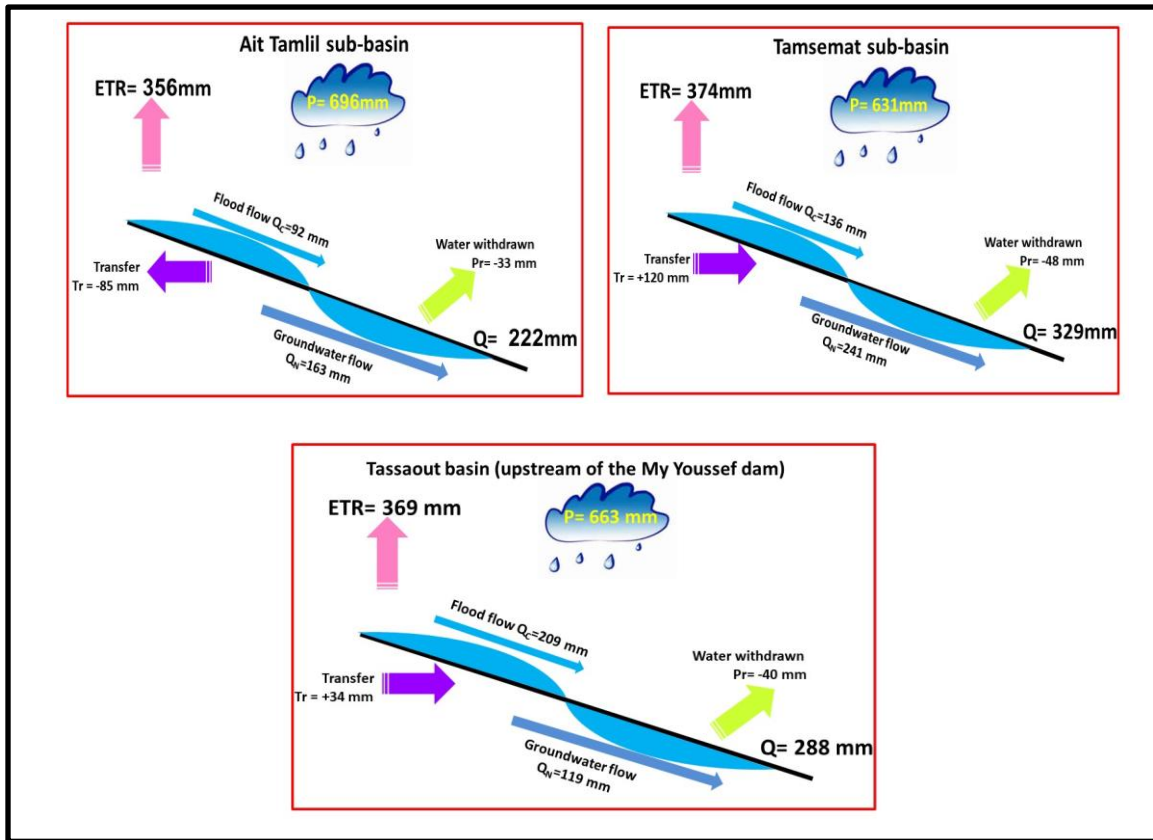


Fig. 4. Hydrological water balance of the study area (1986-2010)

Due to the high altitudes characterizing the Ait-Tamليل catchment, the latter experiences significant rainfall, but it only has a very low runoff coefficient (32%) compared to the Tamsemat catchment, this is due to with the high permeability characterizing the basin. Mouhdi. 1993), while the transfer of water to the neighboring basins reaches 85 mm. This basin is also characterized by a significant water table emptying which reaches 163 mm, which explains the constant flow of the main watercourse throughout the year. The water samplings represent 15% of the total flow of the catchment, which cannot be neglected in the preparation of the hydrological balance. The Tamsemat catchment has a very high runoff coefficient, which represents 52% of precipitation during the statistical series (1986-2010), due to the hydrogeological transfer of a large quantity of water resources transmitted by neighboring basins. The water samplings represent 14% of the total flow of the basin. While the entire basin is characterized by additive water resources transmitted by neighboring basins having 34mm in volume. The quantity of water samplings is 40mm, which represents 14% of the total flow of the Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam). The annual hydrological balance of the basin can be summarized as follows:

$$(P)663 \text{ mm} = (Q)288\text{mm} + (ETR)369\text{mm} + (Pr)40\text{mm} - (TR)34\text{mm}$$

Generally, the annual water balance gave us an idea of the hydrological functioning of the Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam), and the two catchments. Thus, he showed the importance of flows in the basin, but it was necessary to carry out a monthly assessment to fully understand the mechanisms and parameters that influence the surface flow.

Hydrological response at monthly scale (1986-2010).

The monthly study allows us to determine the different variables of the hydrological balance, and to approach the different forms of flow, from the analysis of precipitation, the flow of water and the flood coefficient (El Ghachi 2007).

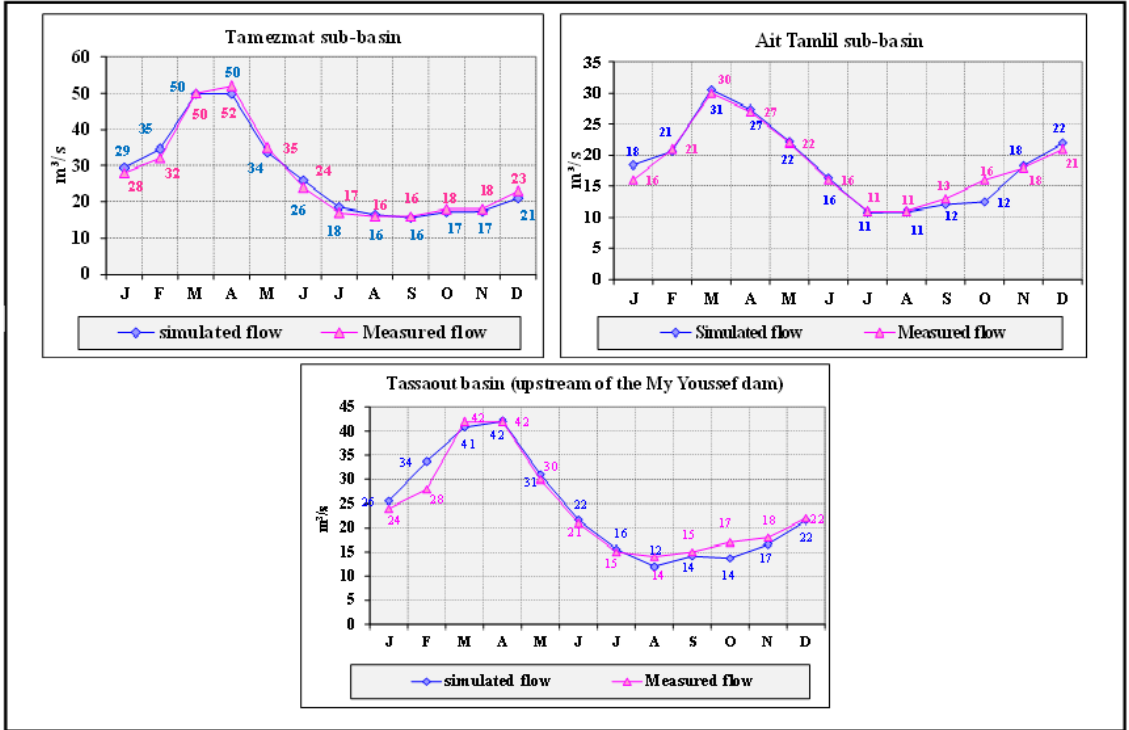


Fig. 5. Comparison of measured and simulated flows on a monthly scale (1986-2010)

The results of the hydrological modelling of the study basin were satisfactory at the monthly level, according to the linear correlation values (Dubreuil 1974) between the measured discharge and the simulated discharge which reached 0,96 for the Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam), and 0,95 for the Ait-Tamllil catchment and 0,98 for the Tamsemat catchment. the hydrological year in the study basins can be separated into two different periods:

- * Period of high water (Quick-flow) characterized by a significant flow during the year. The months January February are not strongly affected by interesting rainfall during these months, yet the flow begins to rise until reaching its maximum value during the months of March and April for the three basins. This explains the contribution of snowmelt water to the flows of the main Atlas wadis (Boudhar, 2009). In addition, the basin experiences a high flood coefficient. 70% of the total flow of the Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam), which generates significant surface runoff after precipitation.
- * Period of low water (Base-flow), which experiences a significant flow, despite the scarcity of precipitation during this period. This can be explained by the slow draining reservoir (El Ghachi, 2007) representing 35% in total of the flow of the Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam), which plays an important role in supporting the flows in summer and at the beginning of autumn (Monk. 2008). We can well specify the hydrological balance variables according to the results of the following table :

Table. 3. Monthly hydrological balance of the Ait Tamlil catchment (1986-2010)

	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	
Precipitation (P)	94	89	88	67	50	15	9	12	37	66	83	86	696
Debit m ³ /s	3,3	4,7	6,0	5,4	4,4	3,3	2,3	2,1	2,7	3,2	3,6	4,1	3,8
n days / month	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365,3
Useful precipitation (Pu)	88	84	83	65	49	15	9	12	37	64	79	82	667
ETP	7	14	29	45	72	120	167	151	92	58	21	10	786
Rainfall deficit (DP)	-81	-70	-54	-20	23	105	158	139	55	-6	-58	-72	
DP Cumulated	0	0	0	0	23	128	286	425	480	106	0	0	
R (state of the R)	50	50	50	50	32	4	0	0	0	3	31	50	
DR (reserve variation)	0	0	0	0	-18	-28	-4	0	0	3	28	19	
ETR	7	14	29	45	67	43	13	12	37	58	21	10	356
NEEDS (ETP-ETR)	0	0	0	0	5	77	154	139	55	0	0	0	430
SURPLUS of the water	81	70	54	20	0	0	0	0	0	3	30	53	311
Transfer (Tr)	-20	-21	-12	-7	-4	-5	-7	-4	0	0	0	-5	-85
Q tablecloth	3	6	17	21	20	16	12	13	15	13	14	13	163
Q raw	17	16	16	9	5	3	2	1	1	3	8	12	92
Flood flow coefficient	0,18	0,18	0,18	0,13	0,09	0,19	0,20	0,11	0,03	0,05	0,09	0,14	
Water withdrawn (Pr)	1,50	1,50	2,00	2,50	2,50	2,50	3,00	3,50	4,00	3,50	3,50	3,00	33
simulated flow	18	21	31	27	22	16	11	11	12	12	18	22	222
measured flow	16	21	30	27	22	16	11	11	13	16	18	21	222
fault (%)	15	-2	2	1	1	2	-1	-1	-7	-22	2	4	0

Table. 4. Monthly hydrological balance of the Tamsemat catchment (1986-2010)**Table. 5. Monthly hydrological balance of the Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam) (1986-2010)**

	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	
Precipitation (P)	91	85	89	59	48	17	5	14	30	52	70	7	6
Debit M ³ /S	8,3	10,3	14,4	15,5	10,2	7,1	5,1	4,7	4,8	5,3	5,5	6	8
N Days / Month	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	3	3
Useful	87	82	85	58	47	17	5	14	30	51	68	6	6
Etp	12	20	30	55	85	132	186	166	110	69	28	1	9
Rainfall Deficit	-75	-62	-55	-3	38	115	181	152	80	18	-40	-	
Dp Cumulated	0	0	0	0	38	153	334	486	566	584	11	0	
R (State Of The R)	50	50	50	50	23	2	0	0	0	0	32	5	
Dr (Reserve	0	0	0	0	-27	-21	-2	0	0	0	32	1	
Etr	12	20	30	55	74	38	7	14	30	51	28	1	3
Needs (Etp-Etr)	0	0	0	0	11	94	179	152	80	18	0	0	5
Surplus Of The	75	62	55	3	0	0	0	0	0	0	8	3	2
Transfer (Tr)	10	9	20	22	10	7	4	4	6	9	9	1	1
Q Tablecloth	21	22	34	35	22	17	13	13	14	16	16	1	2
Q Raw	11	16	19	18	15	12	10	8	7	7	7	7	1
Flood Flow	0,12	0,18	0,21	0,30	0,31	0,70	1,9	0,6	0,2	0,1	0,1	0	
Water Withdrawn	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,4	4,9	5,5	5,5	5,5	4	4
Simulated Flow	29	35	50	50	34	26	18	16	16	17	17	2	3
Measured Flow	28	32	50	52	35	24	17	16	16	18	18	2	3
Fault (%)	5	8	0	-4	-4	8	9	3	-2	-4	-4	-	0

	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	
Precipitation (P)	92	85	89	63	49	16	8	14	33	58	77	79	663
Debit M ³ /S	11	14,	20	21	14	10	7,	6,	7,	8,	9,	10	11,
N Days / Month	31	28,	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Useful Precipitation (Pu)	88	82	85	62	48	16	8	14	33	57	75	76	644
Etp	10	17	30	50	78	12	17	15	10	64	24	12	848
Rainfall Deficit (Dp)	-	-65	-	-	30	11	16	14	68	7	-	-	
Dp Cumulated	0	0	0	0	30	14	30	45	52	52	0	0	
R (State Of The R)	50	50	50	50	27	3	0	0	0	0	15	34	
Dr (Reserve Variation)	16	0	0	0	-	-	-3	0	0	0	15	19	
Etr	10	17	30	50	71	40	11	14	33	57	24	12	369
Needs (Etp-Etr)	0	0	0	0	7	86	16	14	68	7	0	0	479
Surplus Of The Water	62	65	55	12	0	0	0	0	0	0	36	45	275
Transfer (Tr)	0	2	6	10	5	0	-2	-2	3	4	4	4	34
Q Tablecloth	8	11	16	19	13	7	5	4	8	9	9	10	119

Q Raw	20	25	27	26	21	17	14	12	10	9	12	15	209
Flood Flow Coefficient	0,	0,2	0,	0,	0,	1,	1,	0,	0,	0,	0,	0,	
Water Withdrawn (Pr)	2,	2,2	2,	2,	2,	2,	3,	4,	4,	4,	4,	3,	40
Simulated Flow	26	34	41	42	31	22	16	12	14	14	17	22	288
Measured Flow	24	28	42	42	30	21	15	14	15	17	18	22	288
Fault (%)	6	20	-3	0	3	3	4	-	-6	-	-8	-2	0

DISCUSSION

The Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam) is characterized by significant water resources, according to the runoff coefficient which reached 43% of the amount of precipitation during the statistical series (1986-2010). For the results, we included all the variables studied (precipitation, potential ETP evapotranspiration, real ETR evapotranspiration, flow, reserve state R...) According to the model used to develop the hydrological balance. The monthly flow regime of the study basins can be determined by marking the following:

- This article allowed us to make a synthesis of hydrological modelling and the stages of the implementation of a hydrological model.
- The choice of the Orchy II hydrological model is justified by the climatic data available (model inputs), that it is a simple conceptual model with few parameters, but associated with a measurable physical reality, and which can integrate anthropogenic impact on hydrological functioning (El Ghachi. 2014).
- Hydrological functioning varies in the three basins, both at the annual and monthly scales.
- The Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam) receives significant rainfall during the period between November and March with a spatial variation between upstream and downstream of the basin (Boudhar 2009).
- The study basins are characterized by a very significant flood flow, representing 60% for the Tassaout basin (upstream of the Moulay Youssef dam) and 36% for the Ait-Tamlil and Tamsemat catchments. This type of rapid flow, which helps to fill the sub-surface soil reservoir, is more sensitive to evaporation (Guigo. 1975)
- The rate of the groundwater flow varies between 40 and 70% of the total flow for the three basins, contributes to the flow during the summer period, when rainfall decreases (Castany. 1968).
- The correlation coefficient which marked values over 0,95, reflects very satisfactory results for the simulated flow, either at the monthly or annual level.
- The OrchyII model has proven its effectiveness in analyzing the elements of the water balance and highlighted the anthropogenic impact on the hydrological functioning of the basin, where water water samplings represent 14% of the annual modulus. This proportion worsens during the summer periods of the year.
- The representation of the hydrological balance on a monthly scale made it possible to consider the impact of changes in anthropogenic forcing on flows.

CONCLUSION

The climatic and hydrological study has shown that the basin has great hydrological potential, the regime of which is greatly influenced by human activities, from a network of canals through which a large quantity of irrigation water is transferred.

To simulate a rain-flow model for a better understanding of the hydrological behaviour of the Tassaoute basin (upstream of the Moulay Youssef dam); we have started to apply the OrchyII model to the monthly time step, which has proven its effectiveness in analyzing water balance parameters and in pinpointing the influence of natural and human factors. Water sampling represent around 14% of the total annual flow of the study basins, which clearly influences the hydrological functioning of the basin.

Bibliography

1. Alley. M.W. (1985). Water balance models in one-month-ahead stream flow forecasting. *Water resource research* 21(4), 597-606.
2. ABHOER, (1972). Étude hydrologique de l'OUOM ER RBIA Rapport, 501 pp.
3. Boudhar. A. (2009). Télédétection du manteau neigeux et modélisation de la contribution des eaux de fonte des neiges aux débits des Oueds du Haut Atlas de Marrakech Thèse de doctorat de 3ème cycle. Université Cadi Ayyad Faculté des sciences et Techniques- Marrakech. Maroc. p232
4. Castany G. (1968). Prospection et exploitation des eaux souterraines. Paris. Dunod, 717 p.
5. Couvreur. G. (1988). Essai sur l'évolution morphologique de haut atlas calcaire – Maroc. Notes et Mémoires du Service Géologique. Edition du Service Géologique du Maroc N° 318. 391 p.
6. Direction Provinciale d'Agriculture d'Azilal (DPAA). (2014). Étude d'inventaire et de la caractérisation des périmètres existants de la PMH et identification des possibilités de l'extension par l'irrigation des périmètres associés aux petits et moyens barrages par bassins hydrauliques Rapport. 45p
7. Dubreuil. P. (1974). Initiation à L'analyse Hydrologique. Université de Paris VI. ORSTOM. 216 p.
8. El Ghachi. M. (2007). La seille : un système fluvial anthropisé (lorraine. France) Tome 1. Thèse de doctorat de 3ème cycle. Université Paul Verlaine de METZ. France .344p.
9. El Ghachi. M. (2014). Élaboration d'un bilan hydrologique. Méthodologie et Application. Le cas de la Seille (Lorraine. France). revue FLSH Beni-mellél. 15 p.
10. El Khalki. Y. (1990). Étude hydrogéomorphologique du haut Sebou. cas de synclinal de Skoura et de ses bordures (Moyen Atlas. Maroc). Thèse de Doctorat. Université d'Aix Marseille II. Tome I. France. 244 p.
11. Gille. E. (1985). Contribution à l'étude hydrologique des bassins de la Meuse et de la Moselle. Problématique de l'utilisation d'un modèle couplé à discrétisation spatiale Thèse de doctorat de 3ème cycle. École Nationale Supérieure des Mines de Paris et Université Pierre et Marie Curie. 213 p.
12. Gille. E. Lang. C. (2004). Problématique d'optimisation des paramètres de calage d'un bilan hydrologique. Application aux bassins versants de la Sauer. Mosella. Tome XXVIII-N°1-2. 157-172 pp.
13. Guigo. M. 1975. Essai de bilan hydrologique sur un petit bassin versant de l'Apennin padan. Le Parma. *Revue Géographique de l'Est*. 15-1-2. Pp. 63-87.
14. Makhlouf. Z. (1994). Compléments sur le modèle Pluie-Débit GR4J, essai d'estimation de ses paramètres. Thèse de doctorat. Université Paris XI Orsay. France. 426 p.
15. Moine. N. (2008). Le bassin versant de surface vue par le souterrain. une voie d'amélioration des performances et du réalisme des modèles pluie-débit. Université Pierre et Marie Curie. École Doctorale 398 Géosciences et Ressources Naturelles. Thèse de doctorat de 3ème cycle. 348 p.
16. Mouhdi. A. (1993). Contribution à l'étude pluvio-hydrologique du bassin-versant de l'oued Melloulou (Maroc oriental). Université des sciences et technologies de Lille U.F.R. de géographie et d'aménagement spatial. Thèse de doctorat de 3ème cycle. 251 p.
17. Perrin. C. (2000). Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de doctorat, INPG, Grenoble. 287 p.
18. Qadem. A. (2015). Quantification. Modélisation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant du haut Sebou (Maroc). Université Sidi Mohamed Ben Abdelah et Université de Lorraine. Thèse de Doctorat de 3ème cycle. Maroc. 360 p.
19. Riou. C. (1975). la détermination de l'évaporation. Application à l'Afrique. Mémoire ORSTOM, 236 p.
20. Strahler, A. N. (1957) . Quantitative analysis of basin geomorphology *American Geophysical Union Transactions* 38(6). 912-920.
21. Thornthwaite. C.W. et Mather. J.R. (1957) . Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. Drexel Institute of Technology. Laboratory of Climatology. *Publications in Climatology* 10(3). 311 pp.

Socio economic impacts of Hydrological Hazards and Disasters in Tunisia

Noureddine Gaaloul¹, 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

Tunisia is a water-scarce country and substantial imbalances exist in water resource distribution between the better endowed north and the semi-arid south in regards to water balance, storage, and water distribution. The country has a 90% mobilization rate of water resources through dams, whereas groundwater resources already overexploited. A network of canals and transfers exists to transport water from the north to the south. The country's main permanent watercourse is the Medjerda River, with sources in Algeria and on which Tunisia's largest dam, the Sidi Salem dam, is located. Rainwater also infiltrates the soil and contributes to the country's water reserves for rainfed agriculture, with the remaining water stored in wetlands or flowing towards the sea. While the country has made significant progress in regards to its water supply, sanitation, and water-related health services, significant imbalances and lack of access still remain high. Inequalities persist with regard to service availability, water quality, and access, particularly across different geographies and between urban and rural populations. Understanding natural hazard occurrences as well as historical climate conditions, in relation to development contexts, is critical to understanding a country's historical vulnerability. This tool allows the visualization of different natural hazards or historical climate conditions with socio-economic and development datasets. Climate variability and human activity have critical impacts on the sustainability of natural water resources, which may lead to the over-abstraction and deterioration of water quality. In the context of climate change and an increasing demand for water, it is important to stress the distinction between vulnerability and exposure to dangers. Vulnerability is made clear when exposure to dangerous forces occurs. The latest and current global-level disaster is the COVID-19 (and variants) pandemic. Research and investigations into the cause and potential responsibility for the pandemic are still ongoing (early 2021) and a clear and definitive answer may never be achieved. It seems clear, however, that the virus originated in an animal species.

Key Words: Socio economic, Hydrological Hazards, Drought, Disasters, Tunisia

Impacts socio-économiques des aléas et catastrophes hydrologiques en Tunisie

Résumé

La Tunisie est un pays pauvre en eau et des déséquilibres substantiels existent dans la répartition des ressources en eau entre le nord le mieux doté et le sud semi-aride en ce qui concerne l'équilibre hydrique, le stockage et la distribution de l'eau. Le pays a un taux de mobilisation des ressources en eau à travers les barrages de 90%, alors que les ressources en eaux souterraines sont déjà surexploitées. Un réseau de canaux et de transferts existe pour transporter l'eau du nord vers le sud. Le principal cours d'eau permanent du pays est la rivière Medjerda, qui prend sa source en Algérie et sur laquelle se trouve le plus grand barrage de Tunisie, le barrage de Sidi Salem. L'eau de pluie s'infiltré également dans le sol et contribue aux réserves d'eau du pays pour l'agriculture pluviale, l'eau restante étant stockée dans les zones humides ou s'écoulant vers la mer. Bien que le pays ait réalisé des progrès significatifs en matière d'approvisionnement en eau, d'assainissement et de services de santé liés à l'eau, des déséquilibres importants et un manque d'accès restent élevés. Des inégalités persistent en ce qui concerne la disponibilité des services, la qualité de l'eau et l'accès, en particulier entre les différentes zones géographiques et entre les populations urbaines et rurales. Comprendre les occurrences des aléas naturels ainsi que les conditions climatiques historiques, en relation avec les contextes de développement, est essentiel pour comprendre la vulnérabilité historique d'un pays. Cet outil permet de visualiser différents aléas naturels ou conditions climatiques historiques avec des ensembles de données socio-économiques et de développement. La variabilité climatique et l'activité humaine ont des impacts critiques sur la durabilité des ressources naturelles en eau, ce qui peut conduire à une surexploitation et à une détérioration de la qualité de l'eau. Dans un contexte de changement climatique et de demande croissante en eau, il est important d'insister sur la distinction entre vulnérabilité et exposition aux dangers. La vulnérabilité est mise en évidence lorsque l'exposition à des forces dangereuses se produit. La dernière catastrophe mondiale actuelle est la pandémie de COVID-19 (et ses variantes). Les recherches et les enquêtes sur la cause et la responsabilité potentielle de la pandémie sont toujours en cours (début 2021) et une réponse claire et définitive pourrait ne jamais être obtenue. Il semble clair, cependant, que le virus est originaire d'une espèce animale.

Mots clés : Socio économique, Aléas hydrologiques, Sécheresse, Catastrophes, Tunisie

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

INTRODUCTION

Tunisia is in North Africa, on the edge of the Sahara desert, at the eastern end of the Maghreb mountain ranges, and on the southern shore of the Mediterranean Sea. With a surface area of about 164 000 Km², and elongated in shape along its north/south axis, it is located in the transition zone between the sub-humid Mediterranean climate and the arid Saharan climate, with a strong overall north/south hydro-climatic gradient of rainfall and evapotranspiration, and hence of hydrological conditions.

Tunisia is situated to the south of the Mediterranean; it is bordered by Libya in the southeast and Algeria in the west (Figure 1). Tunisia's surface area is 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 shares many common features in terms of climate, water, and land resources, and development issues. These include arid and semi-arid climates, limited water resources, agricultural development limited by water availability, and the high economic and social value of water (Gaaloul, 2011).

In the arid and semi-arid regions, countries such as Tunisia are facing increasingly more serious water shortage problems. Problems of water scarcity will intensify because of population growth, rise in living standards, and accelerated urbanization which threaten the water supply in general and agriculture in particular and lead to both an increase in water consumption and pollution of water resources. A continuing increase in demand by the urban sector has led to increased utilisation of fresh water for domestic purposes, on the one hand, and the production of greater volumes of wastewater, on the other. Agriculture in competition with other sectors will face increasing problems of water quantity and quality considering increasingly limited conventional water resources and growing future requirements and a decrease in the volume of fresh water available for agriculture (Gaaloul, et al, 2017). The history of Tunisia reveals how the scarcity of water resources forced its inhabitants to deal with the unequal distribution of these resources within the country. As early as 130 BC, the Roman Emperor Adrian constructed a temple of water and a huge aqueduct to transfer water over 123 km from a spring located in the region of Zaghouan to the city of Carthage. In the early eighth century, the Arabic Dynasty of Aghlabides transferred groundwater and stored it in big basins to supply the new founded town of Kairouan (Gaaloul et al., 2021). This concern for water still persists since it is required for development in all social and economic sectors (Gaaloul et al., 2021).

Rainfall in Tunisia is irregular: there are long dry periods and precipitation varies from year to year and from North to South. The average annual rainfall in the north is 500 mm to 1000 mm, 300 mm in the center, and 150 mm in the south (Figure 1). Dry periods lasting several weeks often occur during one season or can last over several consecutive seasons. The annual average rainfall is estimated at 36 billion cubic per year and is ranging from 11 to 90 billion cubic. The rainfall received in the north is highly variable compared to the rainfall received in the south, and often a transfer of water resources is needed from the north to the south. The average annual evapotranspiration is also high and the water deficit is particularly significant from May to October. The annual evaporation varies between 1300 mm in the north to about 2500 mm and even more in the south.

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 varies from the Mediterranean redundant 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 (Gaaloul, et al, 2017).

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 (Gaaloul, et al, 2021)

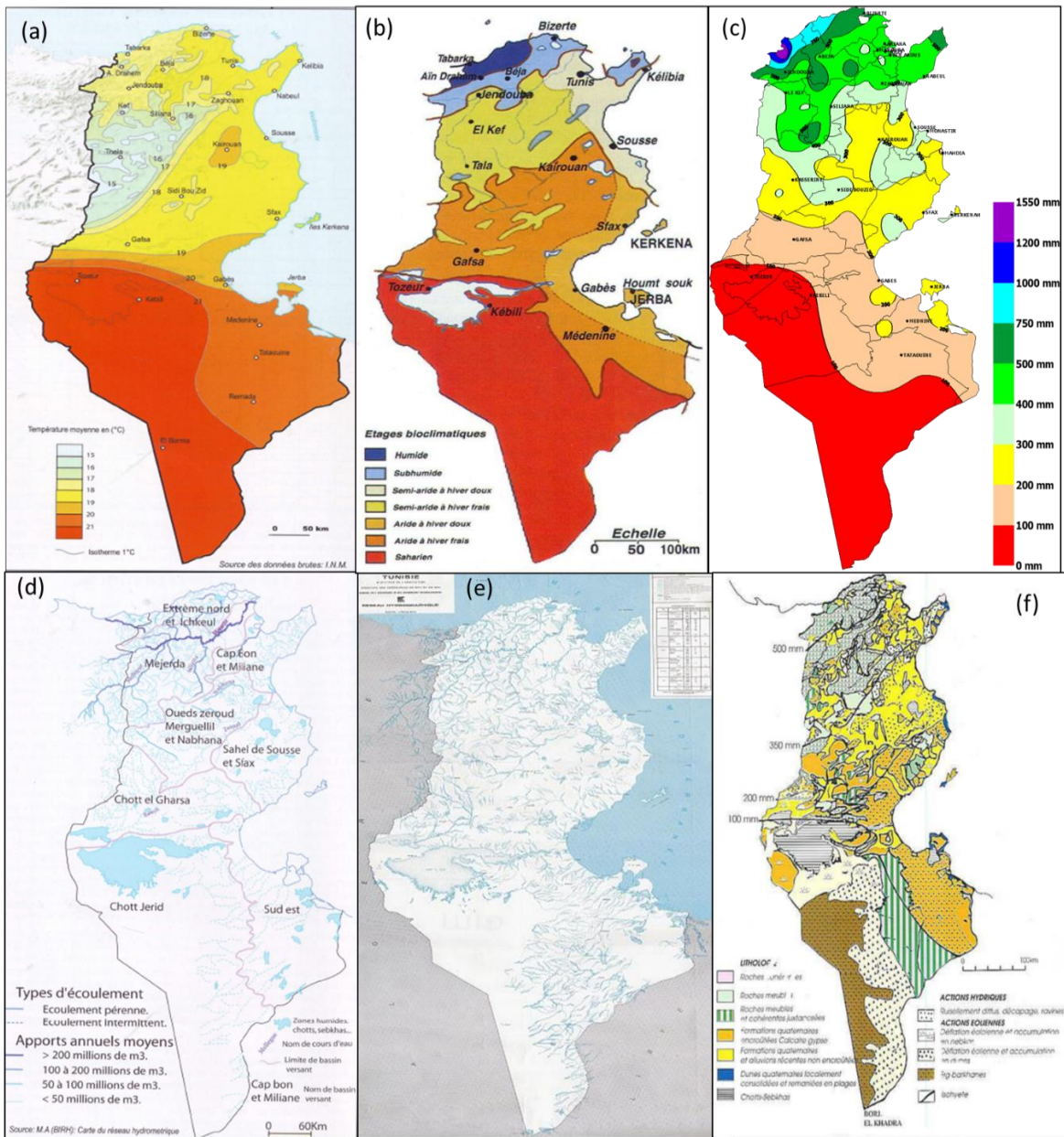


Figure 1. Tunisia situation geographic and the network hydrographical (Gaaloul, et al., 2021)

(a) Temperature; (b) Bioclimatique; (c) Rainfall; (d) Dam; (e) Hydrographic network; (f) Erosion

The climatic and geomorphologic characteristics define three major agro-ecological zones (Gaaloul, et al., 2021):

- 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 northwest and fertile plains in the northeast.

- The centre, constitutes an agro-pastoral region (pasturelands and crops); its rainfall is between 200 and 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 characterised by its aridity and vulnerability of its soils to desertification. This area is pastoral with oases. The total population of the country is 9.6 million inhabitants (2004 census) with 61 % living in urban areas and 39 % in rural areas. The natural growth rate is 1.9 % (2004). Education has always been a priority sector, with a primary school enrolment rate of 100 %. Although the illiteracy rate is still high, it is decreasing progressively. Health standards have much improved as witnessed by the drop in infant mortality from 127‰ in 1970 to 42‰ in 2004 (Gaaloul, et al, 2021)
- Tunisia faces many of convergent natural and anthropic factors, which account for the fairly advanced level of soil degradation. The main problems are water and wind erosion, and salinization. The great challenge is to contain these problems whilst preserving the productive potential of the land. Preventive actions aimed at the rational management of land must be combined with curative actions to enable land improvement, rehabilitation, and restoration through adequate management. The combination of Tunisia's varied bioclimate, ranging from humid to Saharan and its geology, offering different types of rock outcrops, generates a fairly rich variety of soils. The soils are well differentiated by their fertility and sensitivity to degradation. Three major regions can be distinguished by the nature of their soils and the related cultivation systems (Souissi, 2001).
- Northern Tunisia, a region with sylvopastoral potential, has a diverse range of soils:
- Acid soils on alternating clay and sandstone, shallow but quite rich in organic matter and relatively stable,
 - Deep calcareous soils on marl slopes are very sensitive to water erosion;
 - Shallow soils on calcareous rock, located on tops of hills;
 - Deep, stable and fertile soils of numerous more or less extended plains.

All suffer severe water erosion enhanced by slope cultivation and tillage, overgrazing, and by inadequate rotation of rain fed and irrigated crops where the integration of animal husbandry is virtually absent. The failure to recycle organic matter (manure, straw) accentuates the impoverishment of soils in humus and leads to their physical and chemical degradation. Soils of irrigated plains risk chemical degradation - salinization - due to irrigation with brackish water without sufficient drainage to leach out the salts.

Central Tunisia is an agro-pastoral region dominated equally by the heavy soils of the alluvial plains, which are mostly sodic, by the sealed skeletal calcareous soils of the large fans, and by the deep and light soils, which were in the past occupied by rich pastures. These different units are confronted with several problems: the expansion of tree cultivation on the sandy steppes which triggers wind erosion; the cultivation of natural and esparto grass pastures which leads to the reduction of pasturelands, and as a consequence overgrazing; the excessive development of irrigated agriculture using degraded water derived from overexploited aquifers, which leads to the secondary salinisation of soils.

Southern Tunisia has a pastoral vocation and is characterized by arid, light soils vulnerable to wind erosion, dominated by the presence of gypsum. Olive growing and cereal cultivation in the southern steppes are the causes of desertification of the natural pastures; these, by deflation, become stone deserts, and by accumulation, dunes.

Mean annual rainfall values can be exceeded by factors of two to twelve during short and intensive rainfall events, producing runoff and causing soil erosion (695 to 6050 tons per km² per year) (Gaaloul, 2021). Annual soil losses are estimated at 23 000 hectares, of which 13 000 hectares cannot be recovered (Gaaloul, 2021).

Land suitable for cultivation in the north and center of Tunisia, located north of the 200 mm isohyets, is most threatened by strong and moderate erosion, while the center-east and Cap Bon are somewhat less threatened. In total, 1.2 million hectares are affected by water erosion, representing 25% of the nation's land suitable for cultivation. In the South, an estimated 50% of the land, not included in natural deserts, faces desertification (accumulation of sand, surface scraping).

Despite of the wide range of causes and effects often used to describe it, desertification is a well-defined process. It is triggered by changes in climatic and socio-economic boundary conditions of affected land systems. These changes cause the systems to enter an irreversible positive feedback loop of overexploitation of land. The outcomes are land degradation and the disruption of local economies. Desertification is an acute process that occurs at rates several orders of magnitude faster than purely climate-driven land responses. Tunisia's physical and climatic diversity has had a great influence on the way in which its natural resources are used, and this, in turn, has had an influence on the risk of desertification. In the south of Tunisia, the steppes are reportedly being destroyed by human pressure at a rate of 1% per year. Alfa grass or plant communities

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

©2022 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V(viii), Issue 1 –March 2023 - jisteec.org/volume-viii-2023/

associated with it dominate most of the steppes in the south of Tunisia. Human activities are at the root of the main factors in soil and plant-cover deterioration: overgrazing, cultivation of natural grazing lands, eradication of woody plant species, and irrigation with brackish water accompanied by poor drainage.

The effects of such inappropriate use of natural resources tend to be amplified by physical factors, varying according to region in terms of vulnerability and sensitivity: water and wind erosion, increasing soil salinity. 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 the other 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, receive an average of less than 50 days of rainfall. Tunisia, like all countries in the Middle East and North Africa (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 (Gaaloul et al, 2015).

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 consists of the CapBon 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 includes Sousse and Sfax in the Sahel
- Basin 6, which extends north of Chot el Jerid from the southern limit of Basin 4 and the Sahel
- Basin 7, which covers the southernmost part of the country, up to the Algerian and Libyan borders.

This is a list of rivers and wadis in Tunisia (Figure 2). 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 Jeneien

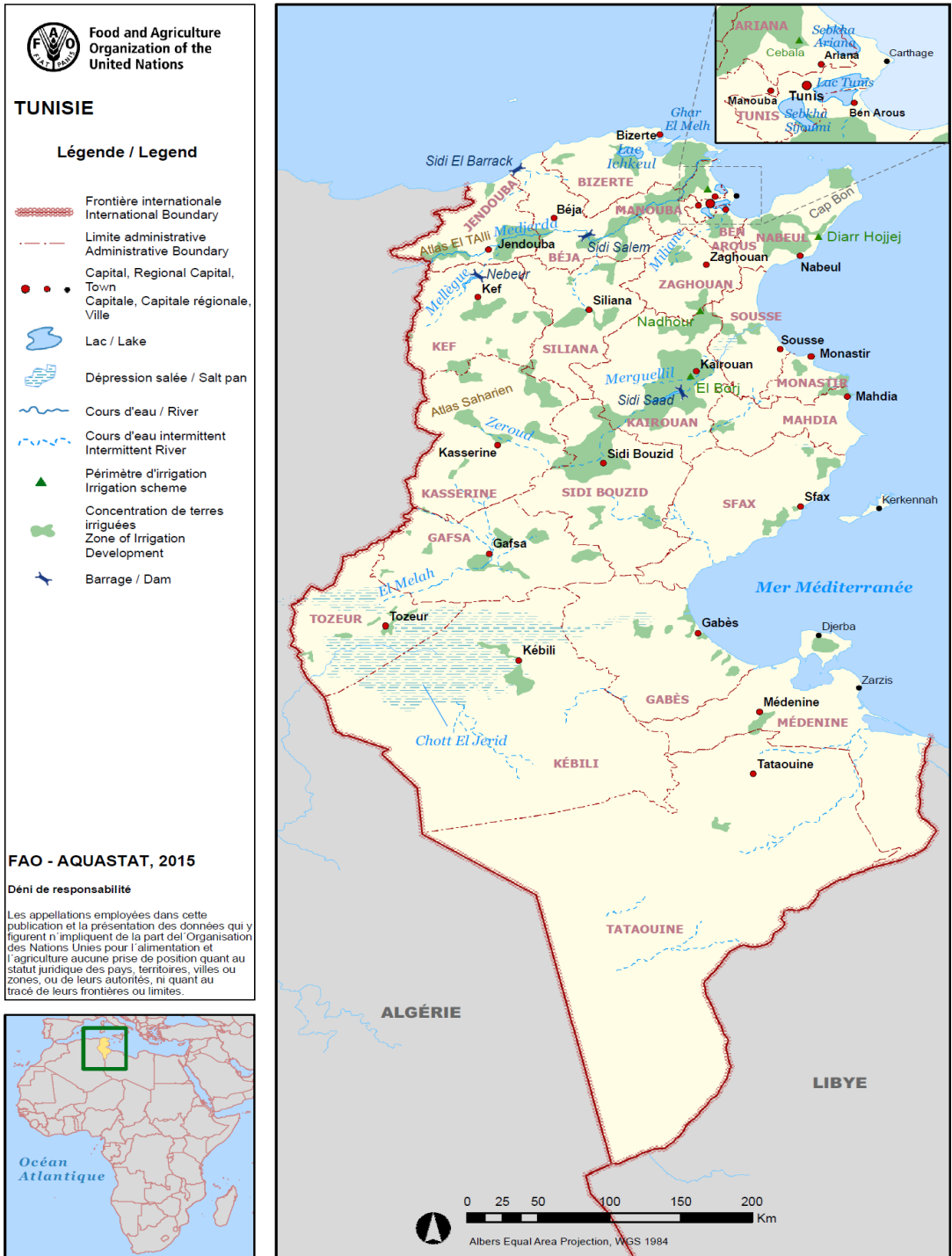


Figure 2. Hydrological networks and location map of Tunisia (Gaaloul, 2021).

The Current Situation in Terms of Water Resources, Water Use, and Water Reuse in Tunisia

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 northwestern corner of Tunisia to less than 100 mm in the south. Variability in time is very high, both within and between years. The mean total precipitation is 36 km³, of which only 3 km³ could be potentially collected as runoff water in large dams. Renewable groundwater resources are estimated at 1.8 km³. The total 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 million cubic meters) is surface water and the remaining 44% (2100 million cubic meters) groundwater (Gaaloul; 2021). Tunisia's average rainfall of 230 mm/year represents a total water volume of 36 billion m³ and is highly variable: about 36 percent of this rainfall falls on 3 percent of the land surface in the extreme north, while 6 percent is received by 62 percent of the land surface in the south.

The escalation of urban water demand has led to the increasing use of freshwater for domestic purposes and 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 water makers have been compelled to develop additional resources, and to take measures toward 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 are quite different (Gaaloul and Eslamian, 2021) :

- Most surface water resources are localized in the Northern region (81.2%), which represents only 17% of the total Tunisian area,
- The majority of ground water resources are concentrated in the south, particularly in deep-lying aquifers containing fossil water,
- The Center is the poorest region for the 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 (except for the tributaries entering the Medjerda river from the south).

Groundwater is badly affected, with 84% of all groundwater resources having salinity levels of more than 1.5 g/L and 30% of the shallow aquifers having than 4.0 g l-1.

Surface water resources in Tunisia are characterized by problems of quantity and quality. These resources are limited because of the semi-arid to the arid climate found in most of the country, with episodic droughts, and natural deterioration of water quality because of the salty types of rocks found within the country. The average annual rainfall ranges from 1500 mm in the extreme north to less than 100 mm in the extreme south. The annual evaporation varies between 1300 mm in the north to about 2500 mm and even more in the south. The climate is the Mediterranean, ranging from humid in the extreme North to desert-type in the extreme south.

The climatic and geomorphologic characteristics define three major agro-ecological zones:

- The humid account for hardly 6.6 % of the territory.
- The semi-arid zone extends over the mountainous regions of Tell and the Dorsal and of the North east and has moderate rainfall (400 to 600 mm/yr.) but occupies only 16.4 % of the country. These two rainy areas constitute the water reservoir of Tunisia for surface water.
- The rest of the country (77 %) comprises Central and Southern Tunisia, and is part of the arid or desert area where average rainfall varies from less than 100 mm/year to less than 400 mm/year. As these zones are sufficiently arid and generally have permeable soils and little topographic variation, surface rainwater available for use is virtually non-existent, and is stored below ground to form aquifers.

Rainfall throughout the country is equivalent to an average of about 36 billion m³ per year, or an average of 230 mm. From this quantity, an average of only 2.7 billion m³ is annually mobilized through a well-developed

hydrographic network, a topography favoring runoff, and an impermeable geological stratum limiting infiltration. There are few aquifers in the North.

The major basins in the north are the Medjerda Basin, in the extreme north, and the Oued Miliane. Most dams are constructed on these Oueds (16 units). Agriculture entirely depends on irrigation from the Medjerda River. It is the only permanent flowing river and carries one million cubic meters of surface water. In the center, three dams have been built on the Zeroud, Merguellil, and Nebhana Oueds. The mobilizable water is collected at 81 % in the northern basins, 12 % in the center and only 7 % in the south. Surface water is considered of great interest for agricultural development since it irrigates nearly 131 500 hectares and during the floods it spreads over 170 000 hectares. This resource is now at risk because of the decline in dam storage capacity, which annually accumulates over 30 million m³/year of silt. Furthermore, surface water is the most affected by variability in space and time. One year out of every two is dry, and out of 2700 Mm³/yr of surface water, 2230 Mm³ is available one year out of every two, 1500 one year out of every five, and 1250 one year out of every ten. One year out of every two is dry, and out of 2700 Mm³/yr of surface water, 2230 Mm³ is available one year out of every two, 1500 one year out of every five, and 1250 one year out of every ten. Of the reduction of their available capacity due to silting (5 to 10% per decade), water losses by evaporation (1 to 2 m per year), and infrastructure. Existing reservoirs are therefore integrated into a complex hydraulic system. Water transfer and spatial redistribution are possible due to the interconnections. Water is piped and conveyed over long distances from inland to the coastal areas (150 km) or from north to south (300 km) through systems of open canals (Canal Medjerda-Cap Bon) and pipelines, reservoirs, and pumping stations. This is to provide drinking water to coastal cities while also preserving agricultural areas such as the Cap Bon (Gaaloul, 2021).

Other smaller structures have been implemented to store surface water: hillside dams and hillside lakes. These are essential to flood control and soil and water conservation and also contribute to groundwater recharge. They may also lengthen the expected life of the dams by reducing reservoir silting. In total, 66 hillside-dams (plus 45 under implementation) and 392 hillside lakes (with a capacity varying from 3300 to 500 000 m³), mobilizing 77 Mm³/yr and around 37 Mm³/yr, respectively, are already in operation. In the next century, 203 hillside dams and 1000 hillside lakes will be in operation. 30% of the volume mobilized by the hillside lakes should contribute to groundwater recharge and 70% to fulfill local water requirements. 23 million cubic meters per year mobilized through floodwater diversion structures are used to irrigate 13 100 ha. These structures are mainly located in the central and southern parts of the country. They are used to recover 47 million cubic meters per year (Gaaloul, 2021).

In 2017, Tunisia had 33 dams, 280 collinear dams, 900 collinear lakes, and more than 9000 deep wells and 150,000 surface wells exploiting 86% of total conventional water resources. These proposed projects will permit the development of 90% of conventional water resources by the year 2030. To order to increase the water potential in the country, the use of non-conventional water resources, such as treated wastewater and desalinated briny water, is being encouraged. At the same time, the exploitation of water resources is being managed by better allocating scarce resource. In addition, the protection of coastal aquifers against the intrusion of salt water is reinforced by regulations (Gaaloul, 2021).

The groundwater resources of the country are about 1.97 billion m³ of which 650 Mm³ is nonrenewable and located in the south. 1250 million m³ are in deep aquifers (267) and 719 million m³ are in shallow ones (Hamza and Khanfir, 1991). The net rate of development is 93%: 86% from 2400 tubewells pumping into deep aquifers (about 85% of the Boreholes and tubewells are 100-400 m deep) and 106% from 123 000 shallow wells (less than 50 m deep). This number of wells was 60 000 in 1980. In total, 59 Mm³/yr are provided by springs. Groundwater resource exploitation is more advanced :

- 0.7 billion m³/year from shallow aquifers, representing 106% of renewable resources
- 1.4 billion m³/year from deep aquifers, representing 77% of renewable resources (including fossil groundwater)

Groundwater resources are exposed to various types of pollution and deterioration, increasing their vulnerability and scarcity.

Shallow aquifers are already over-tapped. Groundwater resources in coastal aquifers (Cap Bon, Sahel, and Gulf of Gabes) and in the chotts (Nefzaoua and Jerid) suffer from Stalinization problems due to seawater or saline water intrusion. As a result, the quality of these aquifers has deteriorated considerably. Pollution of some shallow aquifers by nitrates constitutes also a major risk for domestic requirements. Generally, deep aquifer composition is rather stable over the year while the shallow aquifers one depends on location and season and is often salt-

affected. The Groundwater of the shallow aquifer is generally over exploited, leading to the lowering of water tables and the deterioration of water quality. The majority of the shallow aquifer are located in the north and the center of the country, while deep aquifers are mostly concentrated in the south. The south of the country includes the fossil aquifer of the Sahara Aquifer System (SAS), shared with Algeria and Libya, with its two components: “Continental Intercalaire”(CI) and “Complexe Terminal” (CT) (Gaaloul and Eslamian, 2021).

Deep groundwater extraction rates are currently at 73% of annual recharge, and shallow groundwater is at 97% in the coastal and central regions. Excessive groundwater extraction in the coastal regions of Cap Bon, Soukra, and Ariana has resulted in saline intrusion in many areas leading to groundwater being rendered unsuitable for further irrigation. Underground water reserves are very important in the south, especially deep water tables that represent 44.7% of the underground water total. Potential fossil reserves represent 605 million m³ that is 33 %. Given its modest water resources potential and the mediocre quality of most of its groundwater resources, Tunisia has no choice but to try to finding new sources of potable water. The total fresh water demand is expected to reach 877 million m³ per year by the year 2025. The increase in potable water demand is dictated by the population growth on one hand and the rise in the standards of living on the other. In addition, steady urbanization and industrialization processes contribute significantly to the increase in future water demand (Gaaloul, 2021).

Artificial groundwater recharge is practiced for groundwater protection and underground storage of surface water in rainy years. From 1992 to 1996, 25 aquifers were concerned by recharge practiced in river beds, quarries, using infiltration basins or through well injections (Gaaloul and Eslamian, 2014), 262 Mm³ have thus been recharged plus 22 million m³ per year through water and conservation structures. Recharge increased underground water levels (from 1 to 5 m) and improved the chemical water quality (Gaaloul and Eslamian, 2021). Rainwater, which is not taken into account in the water resources budget, is also a major component that participates to rainfed agriculture and to biomass production in general. These are the main water consumers since 31.3 billion m³ are evapotranspired. Soil constitutes an important reservoir which regulates water flows to plants and more attention should be given to these unaccounted water resources.

Water pumped from shallow aquifers is mainly used for irrigation and to a less extent for drinking purposes. Deep groundwater is used for agriculture (74%), for potable water supply (18%), industry (8%), and tourism in the arid and semi-arid parts of the country where surface water is lacking. Water is sometimes transported several kilometers to supply cities such as Sousse, or Sfax.

Groundwater resources are exposed to various types of pollution and deterioration, increasing their vulnerability and scarcity. Shallow aquifers are already over-tapped. Groundwater resources in coastal regions (Cap Bon, Sahel, and Mareth) and in the vicinity of chotts (Nefzaoua and Jerid) suffer from salinization problems due to seawater or saline water intrusion. As a result, the quality of these aquifers has deteriorated considerably. Pollution of some shallow aquifers by nitrates also constitutes a major risk to domestic requirements.

Generally, the deep aquifers composition is rather stable throughout the year while the shallow aquifer depend on location and season and is often salt-affected. Therefore, salinity of 8‰ from the shallow aquifers is less than 1.5 g l⁻¹, 71% are ranging between 1.5 and 5 g l⁻¹, and 21% are above 5 g l⁻¹. In the deep aquifers, 20% have a salinity of less than 1.5 g l⁻¹, 57% are between 1.5 and 3 g l⁻¹ and 23% are above 3 g l⁻¹. In the south, there are three main fossil aquifers with different water qualities (1-7 g l⁻¹),

At present, saline water is mainly disposed of in sebkhas where it evaporates. Assessments conducted so far, which need to be further refined, already indicate significant amounts of available resources. Some experiments have already been conducted such as in south Tunisia using saline water for irrigation of some specific crops. They could be the starting point for the development of biosaline agriculture in these regions (John S. et al, 2006).

Groundwater is sometimes mined as a limited resource. The increasing need for water is prompting agencies to look at various water management scenarios, so that they will be prepared for the future. These scenarios include managing groundwater and conjunctive use, which includes the coordinated management of both surface and ground water. Underground storage via artificial recharge, where possible, may be an efficient, environmentally friendly solution to water storage (ASCE, 2001).

Figure 3 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 a salinity of over 1.5 g l⁻¹. It is clear that a large percentage of these waters need to be desalted before they can be exploited. 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⁻¹ (Gaaloul, 2021).

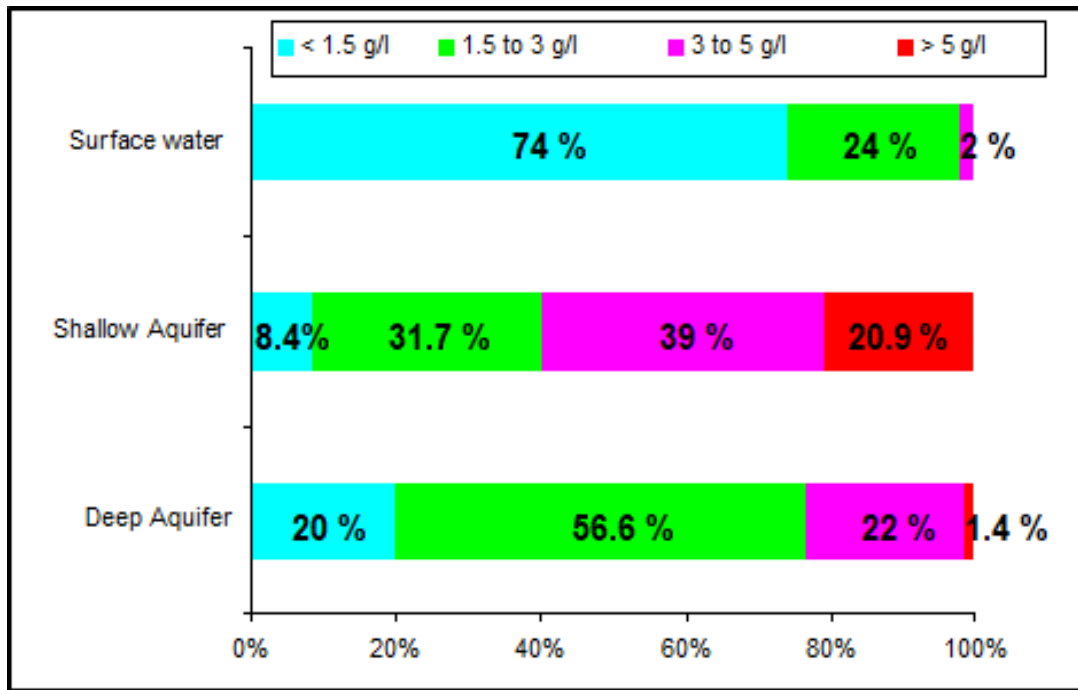


Figure 3. Tunisian water resources classification according to salinity levels (Gaaloul, 2021).

On a national scale, water resources are distributed unequally (Table 1, Table 2, and Table 3). In most regions’ precipitation is insufficient and unpredictable, and it is unevenly distributed across regions. Groundwater supplies a large proportion 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 (Gaaloul, 2021).

Table 1. Geographical distribution of different categories of water in Tunisia

Basin	North	North	Center	South	Total
Regional surface (%)	30	7	1	62	100
Supply of surface water (million m ³)	970	230	20	80	1700
Groundwater (million m ³)		95	16	108	219
Deep Groundwater (million m ³)		69	26	322	417
Total potential resource (million m ³)		354	62	120	536
Percent		69	18	23	

unisia, like any Mediterranean country, is subject to the vagaries of the climate, with droughts becoming more frequent, forcing them to focus on water resources. Indeed, it has for decades, public facilities for the storage, transfer, and distribution of water, allowing him to regulate water resources and the needs of all economic and social sectors over a multiyear period. 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, 36% of the total potential of the country.
- The North: represented by the basins of the Medjerda Cap Bon and Méliane, and provides an average of 1,230 million, 46% of the total potential surface water.
- The center: it includes the watersheds of Nebhana, Marguellig, Zeroud and Sahel and presents annual resources estimated at an average of 320 million m³, or 12%.
- The South: it accounts 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 million m³, 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 the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) countries and very high compared with the average for the North african region (Gaaloul, 2021).

Table 2. 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)	419.7
Total dam capacity (million m ³)	2 677

Most residents of large urban centers have access to adequate sanitation systems, and wastewater treatment facilities generally follow conventional designs. The sanitation coverage in sewerage cities is about 78%; this rate, related to the whole urban population (5.8 million), is 61%. Concerning industry, compliance with the Tunisian standards (INNORPI, 1989) fulfill the discharge requirements stated in the regulations must be implemented. Subsidies were 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 WasteWater Treatment Plants (WWTPs), of which around 41 have a daily capacity of 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 million m³ per year 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 the origin of the wastewater and local conditions. Out of 61 treatment plants, 44 were based on activated sludge (medium or low rate), 3 on trickling filters, and 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). Like most countries affected by aridity, particularly within the Maghreb region, water resources represent Tunisia the most precious environmental good. The climate varies from the Mediterranean to semi-arid and arid; it is characterized by hot and dry summers and mild winters, receiving the major part of the annual precipitation.

Table 3. Water use in Tunisia

Water withdrawal	
Total water withdrawal (million m ³ /yr)	3 305
Irrigation + Livestock (million m ³ /yr)	2 644
Municipalities (million m ³ /yr)	463
Industry (million m ³ /yr)	165
Tourisme ((million m ³ /yr)	33
per inhabitant (m ³ /yr)	307
Surface water and groundwater withdrawal (million m ³ /yr)	3 217
as % of total actual renewable water resources (%)	70
Non-conventional sources of water	
Produced wastewater (million m ³ /yr)	287
Treated wastewater (million m ³ /yr)	226
Reused treated wastewater (million m ³ /yr)	68
Desalinated water produced (million m ³ /yr)	
Reused agricultural drainage water (million m ³ /yr)	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 cities is about 78%; this rate, related to the whole urban population (5.8 million), is 61%. Concerning industry, compliance with the Tunisian standards (INNORPI, 1989) to discharge wastewater into the sewerage system is required. So, preliminary treatment plants to fulfill the discharge requirements stated in the regulations must be implemented. Subsidies are given to equip industrial units with pre-treatment processes (Gaaloul, 2021).

Reclaimed water is now a part of Tunisia's overall water resources balance. It is considered an additional water resource and as a potential source of fertilizers elements (Gaaloul, 2011). Water reuse has been made an integral part of the overall environmental pollution control and water management strategy. Consequently, it is also considered a complementary treatment stage and consequently, a way of protecting coastal areas, water resources, and sensitive receiving bodies.

Water resources in Tunisia are characterized by scarcity and a pronounced irregularity. By adopting an integrated strategy for the use of water based on scientific and technical studies. Tunisia has been able to develop a complex and diverse water infrastructure, allowing the country to mobilize and exploit available water resources. At the same time, Tunisia has put in place systems and legislation to ensure access to drinking water for the majority of the urban and rural population and to provide supplies for agricultural irrigation, as well as the industrial and tourism sectors.

A lot has been accomplished in the field of water resources planning and management in Tunisia and the data generated for the next 30 years constitutes a good basis. The water security of the country requires the tapping of all water resources to the extent permissible by economic feasibility and by social and environmental impacts, and optimal, economic, and sustainable use. Planning was therefore first based on water supply because of water availability and low demand. The continuing increase in demand by the different sectors and the scarcity of resources is leading to an approach essentially based on demand management. The water issue requires innovative actions in the matter of water resources development, assessment, planning, conservation, management, and utilization. In terms of demand and pollution, as well as public health and the environment, better coordination is required between irrigation, water supply, and sanitation. In terms of demand and pollution, as well as public health and the environment, better coordination is required between irrigation, water supply, and sanitation

In such countries, the sustainability of the development system can only be achieved through the adoption of a long-term strategy, that brings together physical, economic, and social factors. This strategy must be based on a dynamic evaluation of underground and surface water resources by analyzing their regimes and behaviors. This evaluation must take into account occurrence of exceptional droughts. National water policy should be prepared to guide the harnessing and use of water by comparing short and long-term resources, adopting several hypotheses, and putting forward several alternatives. The recycling of used water could lead to a great deal of progress but is still limited by the lack of research in this field. This approach appears to have a great future and will enable the impact of scarcity to be minimized in times to come.

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

©2022 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V(viii), Issue 1 –March 2023 - jisteec.org/volume-viii-2023/

Several studies enabled an assessment of saline water resources in Tunisia, both surface water and groundwater. As the management of surface water is based on the mixing-up of fresh water and saline water, there is no saline water available as such for use in biosaline irrigation. At the level of groundwater, several phreatic and deep aquifers with saline water resources are presently used in agriculture, industry, or -desalination for the production of fresh drinking water.

Flood protection in Tunisia dates back to the Middle Ages. In recent decades, the cities of Tunis and Gabès have emerged as examples (ONAS, 2020) of modern flood control, which includes the use of dikes along wadis such as the Medjerda Oued.

These projects have complemented socio-economic development in recent decades, and while data sharing between stakeholders lags (UNESCWA, 2019), professionals are aware of the challenges and competencies required to manage water resources and infrastructure.

Nonetheless, Tunisia remains vulnerable to severe events, and to conflicts and tradeoffs between objectives, regions, and stakeholders, some of which played a role in the 2011 revolution. Challenges include the conflicting needs of upstream users and downstream consumers such as cities and the tourism sector, crop irrigation needs, groundwater exploitation, infrastructures, siltation, and sedimentation. The following findings and references (WMO/GFCS, 2014; WB/GFDRR, 2018; Perera et al., 2019; Dixon et al., 2020) indicate the need to modernize hydroclimatic services.

To this end, Tunisia has conducted two national strategic studies Eau 2000 and Eau 2030 (UNESCWA, 2019), and is developing a participative 2050 Water Strategy with the MARHP which is part of a wider national policy regarding Agenda 2030 and its Socio Development Goals (SDGs), architecture, targets and indicators (République Tunisienne, 2019).

Climate and Hydrological Related Hazards and Risks

Why Studying Natural Hazards is Important

Since 1995, the world has experienced the deadliest tsunami in recorded history, caused by a massive Indian Ocean earthquake; another devastating tsunami in Japan caused by one of the largest and costliest earthquakes in recorded history; catastrophic flooding in Pakistan, Venezuela, Bangladesh, Thailand, and central Europe; a volcanic eruption that shut down international airports for more than a week; and deadly earthquakes around the world. At the same time, North America has experienced catastrophic hurricanes on the Gulf Coast, along the Atlantic Coast, and in Guatemala and Honduras, record setting; wildfires in western Canada, Arizona, Colorado, Utah, California, and the high plains of Kansas and Texas; the worst outbreak of tornadoes in U.S. history; a record-matching series of four hurricanes within six weeks in Florida and the Carolinas; a paralyzing ice storm in New England and Quebec; record-setting hail in Nebraska; and rapid warming of the climate, especially (but not limited to) Alaska, northern Canada, and Arizona. These events are the result of enormous forces that are at work both inside and on the surface of our planet. In this book, we will explain these forces, how they interact with our civilization, and how we can better adjust to their effects. Although we will describe most of these forces as natural hazards, we can, at the same time, be in awe of and fascinated by their effects (Edward and Duane, 2019)

A natural hazard is a natural process of event that is a potential threat to human life and property. The process and the events themselves are not a hazard but become so because of human use of the land. A disaster is a hazardous event that occurs over a limited area within a defined area. The criteria for a natural disaster are (1) 10 or more people are killed, (2) 100 or more people are affected, (3) a state of emergency is declared, and (4) international assistance is requested. If any one of these applies, an event is considered a natural disaster (Hoyvis, et al., 2007).

A catastrophe is a massive disaster that requires a significant expenditure of money and a long time (often years) for recovery to take place. Hurricane Katrina, which flooded the city of New Orleans and damaged much of the coastline of Mississippi in 2005, was the most damaging and most costly catastrophe in the history of the United States. Recovery from this enormous catastrophe has taken years and continues in parts of New Orleans (Hoyvis et al, 2007).

Though the terms natural hazard and natural disaster are often used interchangeably, there is a recognized distinction between the two. Natural hazards are threats to people and have the potential to kill and injure them as well as cause considerable damage to their property and environment. In contrast, natural disasters occur when the potential turns into reality (Alexander, 2000). But not all hazards necessarily become disasters. If the

actual event is not large enough and/or does not affect (harm) people, it is not considered a disaster, but rather remains a hazard. For example, an earthquake of considerable strength that occurs on an uninhabited island cannot be classified as a disaster because it does not affect people.

Natural hazards and disasters may not happen just to us but often happen because of us. Recent definitions of natural hazards and disasters directly acknowledge the role of humans in causing and exacerbating such events (Montz et al., 2017).

Reducing the intensity of disasters : From 1996 to 2015, natural disasters such as earthquakes, floods, and hurricanes have killed about 1.3 million people worldwide, an average of about 65,000 people per year. Earthquakes and tsunamis killed 57% of people; storms killed 18%; extreme temperatures (hot or cold) killed 12%; and floods killed 11% (Edward and Duane, 2019). During the last few decades, there has been a significant increase in the number of catastrophes and disasters worldwide (Figure 4: Disasters and catastrophes from 1980 to 2015; also shown are the events, by name and location, with the largest economic damage).

Although there are several hundred disasters from natural hazardous events each year, only a few are classified as a great catastrophe—one that results in deaths or losses so great that outside assistance is required (Center for Research on the Epidemiology; 2016). In disasters since the 1990s, flooding and storms caused about 61 percent of disasters and about 56 percent of the total number of people affected by disasters, while earthquakes caused about 57 percent of the deaths, and, over the same period, countries with medium to low income suffered most from floods and storms. High income countries suffered some of the greatest economic losses but the lowest number of deaths. The losses could have been even greater were it not for improvements in warning systems, disaster preparedness, and sanitation following disasters (Center for Research on the Epidemiology, 2016; Crossett, et al., 2004).

Nevertheless, economic losses have increased at a faster rate than the number of deaths. Figure 1.6 shows the disasters in 2015. In comparison, the United States, with a population of approximately 0.33 billion people, experienced approximately 6% of the disasters (Center for Research on Epidemiology, 2016; Crossett et al., 2004).

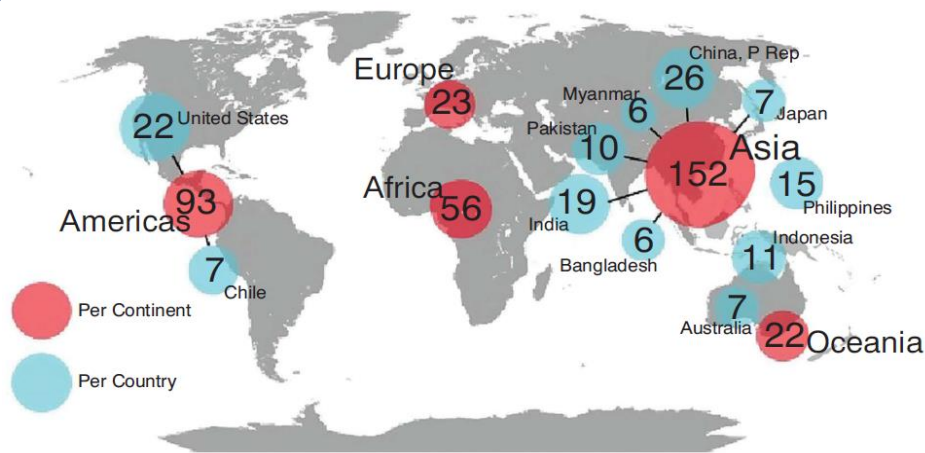


Figure 4. Number and locations, by continent and country, of natural disasters in 2015 notice that about half are in Asia. (center for research on the epidemiology, 2016).

In fact, only an operational definition of drought helps hydrologists or water resources researchers and practitioners to identify the beginning, end, and degree of severity of a drought. This definition is usually made by comparing the current situation to the historical average, often based on a 30 year period of record (according to World Meteorological Organization recommendations).

Drought is one of the most difficult natural hazards to quantify, monitor, and predict (Wilhite, 2000; Wilhite and Pulwarty, 2017). This is simply because drought cannot be directly measured using specific instruments in the field. The diverse impacts of drought on natural systems and economic sectors, including meteorological, hydrological, agricultural, and ecological droughts, add further challenges and complications to drought quantification (Wilhite, et al., 2007; Vicente-Serrano, 2016). Given all these constraints, it is quite difficult to determine the onset and cessation of a drought event, as well as its severity and spatial extent. Drought has a

wide spectrum of environmental and socioeconomic impacts in the Mediterranean region, including crops (Pa'scoa, et al., 2016), soil moisture (Scaini, et al., 2015), surface water resources (Giuntoli, et al., 2013; Caillouet, et al., 2017; Lorenzo-Lacruz, et al., 2013), and groundwater (Lorenzo-Lacruz, et al., 2017). These impacts extend to biosystems, particularly forests (Carnicer, et al., 2011; Rubio-Cuadrado, et al., 2018; Pasho, et al., 2011; Camarero, et al., 2015) and wildfires (Pausas and Fernandez-Munoz, 2012; Ruffault, et al., 2018).

Drought is one of the most common and recurrent natural risks that, if not dealt with effectively, turns into a disaster such as famine, with long-term negative impacts on nations and communities. The available statistics show that the number of drought impacts increased from 15 in 2004 to 22 in 2005. In 2005, some 22,788,083 people were affected by drought, as compared with 11,541,000 people in 2004. A recent International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) survey concludes that droughts are a natural, recurrent component of the climate system and also that drought-related hazards are expected to increase in the future as society places ever growing pressure on the natural resource base. This increase in the drought hazard may result from an increased frequency and severity of meteorological drought, increased societal vulnerability to drought, or a combination of both. More than other natural hazards, the risk of drought depends on the effectiveness of governance and the management of responsible national and local mechanisms, as well as on the degree of vulnerability. To prevent drought from becoming a disaster, as in the case of famine, the involvement of all stakeholders with a strategic vision that involves empowering communities should be developed by governments (Cathy and Thomas, 2016).

Although mechanisms to cope with drought have been developed over recent years, challenges remain that require our collective attention. Appropriate policies, information management, and monitoring, prediction models, science, technical and technological development, methodologies for early assessment and impact analysis, and the relationship between vulnerability and impact on communities are only some of the areas that must be better addressed to cope with drought (Cathy and Thomas, 2016).

Drought is one of the most serious transboundary and regional natural risks. Several countries are often at risk of drought and famine when hit by severe climate variability. The threat of more severe climate change only increases the need to reduce risk and vulnerability as rapidly as possible. There is a need for close regional and international collaboration on various aspects and phases of reducing the risk of drought and better preparedness to face its negative impacts (Cathy and Thomas, 2016).

Also, since 1900, the third-most deadly flood frequency has been in Africa, followed by Europe. With four floods, South Africa is most prone to deadly floods. Meanwhile, Algeria, Kenya, and Nigeria, have each experienced two deadly floods, while Burkina Faso, Ethiopia, Ghana, Malawi, Mozambique, Morocco, Sudan, Somalia, and Tunisia have each experienced one deadly flood. Finally, the fewest deadly flood events have occurred in Europe, and none have occurred in Oceania. Italy and Spain are the European countries with the deadliest flooding, followed by the United Kingdom and Russia, each having experienced two events. Other European countries that have experienced one deadly event are Belgium, Bosnia, Croatia, the Czech Republic, France, Germany, the Netherlands, Portugal, Poland, and Serbia. The number of deadly flood events is somewhat consistent with the number and percentage of flood events reported by the continent. (IFRC, 2006 and 2016).

Although there are many definitions of flood, most are restrictive in nature because they refer only to the overflow of major rivers that spread water onto the floodplains. Such definitions exclude floods occurring beyond floodplain areas. However, floods also occur in coastal areas due to daily tidal activity, storm surges, and tsunami waves. Thus, a flood is a hazard that causes water to overflow and submerge land that is normally dry. This resonates with Ward's definition, "A flood is a body of water which rises to overflow land which is not normally submerged" (cited in Smith and Ward, 1998). The Center for Research on the Epidemiology of Disaster (CRED) defines a flood as a significant rise of water level in a stream and includes lakes, reservoirs, and coastal regions (Jonkman and Kelman, 2005). The Federal Emergency Management Authority (FEMA) in the United States considers a flood to be a general or temporary condition where two or more acres of normally dry land are partially or completely inundated. The inundation can be derived from overflow of inland or tidal waters, unusual and rapid accumulation of runoff surface waters, or the collapse or subsidence of land along the shores of a water body (FEMA, 2017).

Historic hydrometeorological Hazards in Tunisia

Tunisia has witnessed severe drought events that broadly impacted human activities, leading to bad harvests, failure of crops, increases in food prices, shortages, livestock mortality, hunger, epidemics, and famine. To cope with this situation, early civilizations in Tunisia endeavored to mitigate the negative impacts of these events by constructing water infrastructures.

Tunisia's climate records began in the Middle Ages, and include hydrology events in the country's recent history. These records attest to the spatio-temporal variability of such events, their frequency, important processes and variables, and the heterogeneity of Tunisia's natural systems, factors increasingly shaped by recent climatic and landscape changes. Drought is a normal, recurrent feature of THEclimate, although it is erroneously considered a rare and random event. It differs from aridity, which is restricted to low rainfall regions and is a permanent feature of THEclimate. Drought should be considered relative to some long-term average conditions of the balance between precipitation, and evapotranspiration (i.e., evaporation + transpiration) in a particular area. It is also related to the timing (principal season of occurrence, delays in the start of the rainy season, occurrence of rains in relation to principal crop growth stages) and the effectiveness (i.e., rainfall intensity, number of rainfall events) of the rains. However, these are only conceptual definitions that are unable to give an operational definition of drought (Gaaloul, 2008).

Many definitions of drought are adopted in various fields, Consider changing the wording the components of the hydrological cycle considered in the analysis and to the different impacts on water users and ecosystems. The following categories of drought are usually considered (Gaaloul, 2008):

- **Meteorological drought** is usually defined on the basis of the degree of dryness (in comparison to some "normal" or average amount) and the duration of the dry period. Definitions of meteorological drought must be considered specific to a region since the atmospheric conditions that result in deficiencies of precipitation are highly variable from region to region.

- **Agricultural drought** links various characteristics of meteorological (or hydrological) drought to agricultural impacts, focusing on precipitation shortages, differences between actual and potential evapotranspiration, soil water deficits, reduced groundwater or reservoir levels, and so forth.

- **Hydrological drought** is associated with the effects of periods of precipitation (including snowfall) shortfalls on surface or subsurface water supply (i.e., stream flow, reservoir and lake levels, groundwater). The frequency and severity of hydrological drought are often defined on a watershed or river basin scale.

Although climate is a primary contributor to hydrological drought, other factors such as changes in land use (e.g., deforestation), land degradation, and the construction of dams all affect the hydrological characteristics of the basin.

Drought is a frequent climatic event in Tunisia. Except for the south, which had a rather dry decade, the decade from 1990 to saw a predominance of drought (globally: four dry years, one humid year: 95-96 for the body of the country, three comparatively humid years, and two average years). According to the frequency of dry periods and floods since the spelling century, Tunisia experienced 30 inundations and 49 periods of drought. During the twentieth century, characterized by a following uniform of rainfall, 17 inundations alternated with 20 drought periods (Figure 5).

From which a rather dry Character that humid of the Tunisia, this that necessitated the placement, some places of a guiding plan of management of the drought (Scarcity) during the abundance periods (inundations). In Tunisia, the drought is particularly affecting the arid and semi-arid regions characterized by unfavorable climatological and hydrological conditions. Low and erratic rainfall results in frequent periods of serious drought, alternating with periods of floods causing major damage and soil erosion. A strong drought phenomenon is living in Tunisia. A very dangerous natural phenomenon. It concerns the population and all the economic systems of the country. It is not predictable and not easy to manage negative impacts on aquatic and land ecosystems. The negative influence on the quantity and quality of surface and groundwater is salinization (Cary et al., 2013).

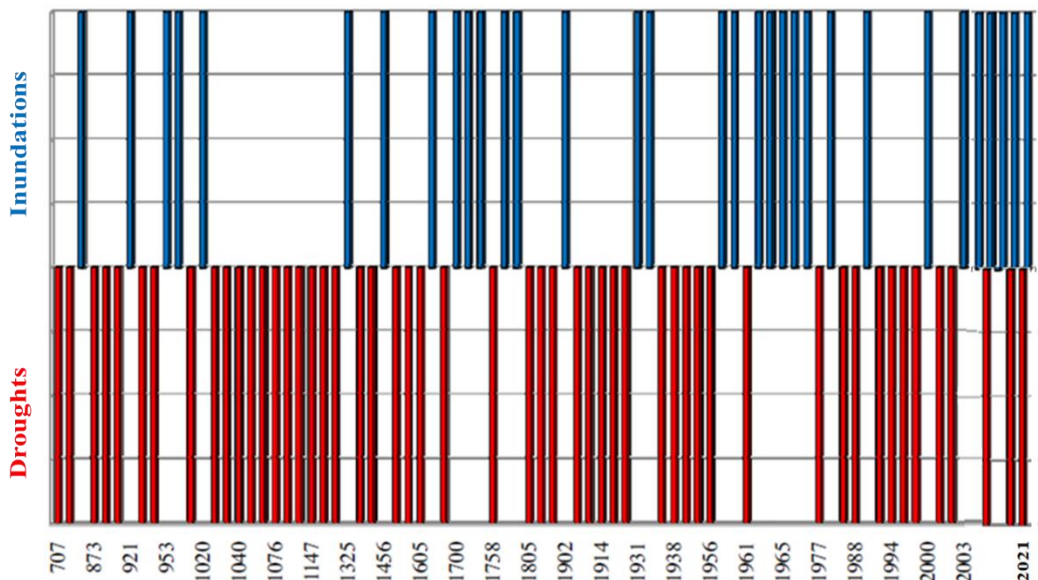


Figure 5. Historic provision of Droughts and Inundations in Tunisia (707-2021) (Gaaloul, 2021)

- 707 à 1640 : 25 Droughts and 8 Inundations
- 1640 à 1758 : 0 Droughts et 3 Inundations
- 1758 à 1900 : 4 Droughts et 2 Inundations
- From 1900 : 20 Droughts et 17 Inundations

The rainfall from 25 to 75% is inferior to the seasonal average in a large part of the country. The increase in the minima of temperatures and decrease of food production 10 to 40% compared to the average in the last ten years. The irrigated areas constitute the solution and new water harvesting techniques have to be adopted. Some strategies to manage drought in Tunisia are as follows:

- Reinforcement of hydraulic equipment (dams, small dams, and recharge aquifer's)
- Institutional reinforcement
- Research.

The probability of drought in three successive years varies from 11% to 34% in Tunisia. The probability of the apparition of a drought succession is resumed in table 4.

Table 4. Probability of apparition of a drought

Region	Prob. no drought / Yno Drought (%)	rob. drought / Drought (%)	Prob. 2Y / oughr (%)
Tunis 127years	22	15	14
North West	19	11	11
North East	19	23	22
Center	23	24	23
Sahel (sea)	28	23	22
South West	25	35	34
South East	26	21	21

In Tunisia, over the last 50 years, floods have caused huge damage and serious socio-economic risks. In fact, between 1959 and 2015 (floods of 1959, 1962, 1969, 1973, 1979, 1980, 1982, 1990, 1995, 2003, 2007, 2011, 2015), at least 815 people were killed by floods, thousands were injured, and 76,300 people were dislocated because of habitat destruction.

The autumn flood of 1969 was one such event (Boudhraâ et al., 2015), predating the advent of major dams, and affecting a large part of the country. The flood caused 542 fatalities, destroyed 70540 houses and left 340,000 people homeless. A discharge of 1,921/s/Km² for an 8,950 km² basin was a record for Northern Africa, and the

Medjerda wadi flowed permanently for a few months. The autumn 1969, extremely severe synoptic event is a milestone as it covered a large part of the country, hit Tunisia before the setting up of the major hydraulic infrastructures that exist nowadays, and was extremely severe in terms of hydrometeorological processes and impacts. In September, the National Institute of Meteorology (INM) recorded 10-day accumulated rainfall of up to 400 mm in certain regions, and 30-day accumulated rainfall in October up to 500 mm over large areas, with measured intensities up to 80 mm /h. Some direct hydrometric observations have been made, especially in the Zeroud wadi basin.

The Medjerda wadi is permanently flowing, which is quite unique in Northern Africa (except the Nile), and has made it a strategic basin for human settlements and agriculture since antiquity. The setting up of modern hydraulic infrastructures (dams, dykes) for local and remote uses (through dam), sometimes in a multiobjective rationale (especially the Sidi Salem dam), has changed the hydrologic (including sedimentary) functioning and the vulnerability to hazards over the last decades and has a strong upstream-downstream interdependency. Depending on the rainfall (and snow) regime and the geographic-hydrographic organization, slow floods essentially occur upstream and from northern tributaries in winter, and rapid floods essentially occur from southern tributaries in spring and autumn (GoG and GoT 2016; Rodier et al., 1981). Floods in Medjerda wadi from the various tributaries contribute differently to the shape of the main hydrograph depending on the space-time dynamics of rainfall, which induces difficulties for operational management.

Between 27 and 31 March 1973, floods with a maximum discharge of about 3,000 m³/s were recorded, and these were followed frequently by others. Between 16 and 20 January 1990, over 500mm of unseasonal rain caused widespread floods in the south and central regions. The volume of sediments transited by the El-H'tab wadi (central Tunisia) at its exit from the Kharroub djebel (Khanguet Ezzazia) due to this event, was estimated at 355,010 m³ for a watershed of 2,200 km², which represents a specific degradation of about 161 m³/km² (1.61 m³/ha). Localized heavy rainfall and floods, especially over coastal cities, define risks at smaller spatio-temporal scales. In September 2017, rain over the Gulf of Gabes and Matmata escarpment flooded wadis flowing toward the Gabès gulf and Jeffara valley, with flows of up to 350 m³/s, causing erosion, geomorphic changes, and damage to infrastructure.

The “Grand Tunis” area regularly experiences intense rainfall, and is vulnerable because of its position at the base of a major watershed and a historic drainage system that has not kept pace with city growth. Between 16–24 September 2003, heavy rains in Tunis-Carthage inundated large areas of Tunis, and floods re-occurred in October 2007 and September 2019 (MARHP, 2019).

In September 2018, catastrophic flash floods in the Cap Bon region caused six deaths and major damage to Nabeul city (GoT et al., 2018; DGRE 2018, 2019) following historic rainfall. Analysis showed that the discharge potential of certain wadis had been amplified by installments, hydraulic defenses were undersized and unmaintained, and that coastal urban zones were vulnerable to extreme runoff, coastal geomorphology and coastal-oceanic weather systems.

Following the disaster, post-disaster analysis revealed that installments in some wadi valleys increased vulnerability and discharge potential, that some preferential flow paths had been overlooked, and that some local hydraulic infrastructure and equipment were under-sized and lacked cleaning routines. Especially, the analysis confirmed the possibility of extreme local rainfall-runoff events enhanced by particular meteorological-oceanic circumstances, particular coastal geomorphology, and the vulnerability of a dynamic coastal urban zone.



Photo1. Inundations of the Grand Tunis” area in Tunis (September 16th, 2003) (Gaaloul, 2011)



Photo 2.Torrential rains in Tunis (October 13th, 2007) (Gaaloul, 2011)

Tunisia also has a history of 20th century droughts (Mouelhi and Laatiri, 2014; OSS, 2013), and experienced severe droughts in the 1920s, 1940s, 1960s and 1980s (Hénia, 2001); in the 1940s and 1980s droughts persisted for many years, with the 1940s drought the most severe of the century with below-average rainfall for up to eight successive years in some areas; the drought at the end of the 1980s was severe and country-wide in impact. These droughts have an impact on agriculture and health, and may also cause locusts to swarm.

Some stations experienced 6 to 8 successive dry years. During four successive years (from 1944-45 to 1947-48), the 400 mm isohyet remained north of the middle and lower Medjerda valley, i.e., more than 150 km north of its average position, south of the Dorsale (Hénia, 2001).

During the 1980s, years with below-average rainfall prevailed for many years. The end of this decade (1987-88 to 1988-89) experienced a severe drought with an intense deficit in rainfall that affected the whole country. These events seriously impact various socioeconomic and environmental sectors in the country, spanning from agriculture to health. An individual peculiar event of locust invasion happened in Tunisia in March 1988 as a result of 2 consecutive drought years.

Droughts are slow-onset disasters and less dramatic than other extreme natural events; however, they can last for considerable periods, even for several years or decades, as in Tunisia: 49 Droughts (Figure 5).. Because of its long duration, climatologists call drought a “creeping disaster.” Effects of this natural event are not felt at once, but they slowly take hold in an area and tighten their grip over time. Others compare drought to a python, which slowly and inexorably squeezes its prey to death. Such a drought is generally defined in terms of its impact rather than its genesis. Droughts occur in nearly every part of the world as well as in almost all climatic regimes, but with varying frequency. They also occur in both dry and wet seasons and thus are a much more complex phenomenon than a routine dry season. However, droughts should not be confused with aridity. In desert or arid regions, rain is rare, and temperatures are high.

Therefore, the lack of rain is the characteristic feature of the climate of such a region. Drought is thus an occasional phenomenon in the region. Droughts are more widespread in terms of area than other natural disasters such as earthquakes and tornadoes, so they affect more people over a larger area. With a growing population, people are increasingly forced to settle on marginal land, and thus, areas subject to drought are expanding over time. Since the 1970s, areas affected by droughts have doubled. Although droughts may begin any time of the year, they are seasonal in certain places. Their impacts may range from mere local inconveniences to the economic and political breakdown of a nation (WMO, 2014). Often, droughts are broken by heavy rainfall and floods, particularly in semiarid and arid regions.

Floods are the most common natural disaster, affecting nearly the entire country from 707 to 2021 (Figure 5). They are the costliest natural disasters in Tunisia.

Tunisia has frequently experienced torrential rains, which may be considered an effect of climate change. In 2000, 2001, and 2003, particularly large floods triggered by heavy rains broke out in the greater Tunis area of northern Tunisia and the nearby lower river regions, causing widespread inundation damage. Additionally, as a result of rapid urbanization and the accelerated pace of development, as reflected in the reclamation of wadis for road development, housing construction in flood-prone districts, and so on, more and more areas are likely to be hit by flood damage. The torrential rains that occurred in September 2003 devastated the greater Tunis area. These probable torrential rains with a 100-year return period resulted in the deaths of four people and damage valued at around 45 billion yen. An area along a vast lakefront was inundated and traffic was cut off as roads became covered with water, paralyzing Tunisia’s capital functions for more than two days (Gaaloul et al., 2015).



Photo 3. Inundations of the Medjerda wadi in the North of Tunisia (February 26th, 2015) (Gaaloul, 2011)



Photo 4. Inundations of the Medjerda wadi in Medjez bab City (February 26th, 2015) (Gaaloul, 2011)

Socio economic Impacts of Hydrological Hazards and Risks

Tunisia is highly vulnerable to natural hazards and climate change, with impacts felt across key sectors of the economy. Between 2011 and 2018, Tunisia recorded over 2,550 fires, which devastated about 34,000 hectares of forest. In 1957, an earthquake in the Jendouba governorate with a magnitude of 5.6 on the Richter scale caused the loss of 13 lives and the collapse of buildings (WB/GFDRR, 2022).

Tunisia has a more diverse economy than other Maghreb countries, with agriculture, industry, mining, and tourism as important sectors. Climate change will significantly affect two of these sectors – agriculture and tourism (and related services). Tunisia's agriculture is primarily rainfed and is thus highly vulnerable to rainfall variability, long droughts, and increasing temperatures (Verner, 2013). The agricultural sector contributes 11–12 percent of GDP, generates around 6 percent of export earnings, and employs an estimated 16 percent of the labor force (Resolve and GIZ, 2013; Van des Gaast, 2018). The droughts caused by climate variability and change will particularly affect rainfed cereal farming, with an anticipated reduction of approximately 30 percent in agricultural land area and lower production of crops such as wheat and barley (SNC, 2013; Verner, 2013).

However, climate change will also impact Tunisia's agricultural exports. Tunisia is a major world producer and exporter of olive oil and dates (accounting for 24 percent of global trade) (Ben Ahmed Zaag, 2017; Jacobs and Klooster, 2012). Currently, about 40 percent of all cultivated land is used to grow olives (Van des Gaast, 2018). It is predicted that climate change will cause olive production to drop by 50 percent and that land area suitable for olive cultivation will decrease by 42 percent in the southern part of the country (Resolve and GIZ, 2013). Similar trends are expected for other crops as a result of the rising temperatures and decreasing rainfall causing climate change. Together, higher global food prices and lower local yields will reduce economic growth in Tunisia. Farm incomes are projected to fall by 2–7 percent annually on average from 2000–2030. While farming households will be hardest hit by climate change, rural, non-farm, and urban households will also be affected by rising global food prices due to climate change.

Heavy rainfall began on September 12th, 2020, when Monastir, the capital of the Monastir Governorate in the center of the country, and many other towns around recorded 47.8 mm of rain in 24 hours, and Sidi Bouzid and many other towns of this governorate had 58 mm. During the same period, Mahdia and localities belonging recorded more than 40 mm of rain in 24 hours during 3 separate days. Kairouan recorded 89 mm of rain. Kef governorate registered similar amounts of rain, especially in the Sers locality. During that period, almost an average of monthly rain was registered (WB/GFDRR, 2022).

According to the country's Civil Protection Agency, flooding and related fatalities were reported in the governorates of Monastir, Sousse, Mahdia, Sfax, and Tunis. Floods struck several districts of the capital, Tunis. Some areas were under 1 meter of water, leaving roads impassable and buildings damaged. The orthopedic hospital in the governorate of Manouba was flooded; water reaching archives and hospitalization rooms. The national Institute of Meteorology (Institut national de la météorologie) of Tunisia issued warnings for further heavy rainfall on 13th and 14th of September. Consequently, floodwater surged through many different districts, damaging infrastructure, houses, properties, and livelihoods of the community members (WB/GFDRR, 2022). During this period, media reports said at least six people died in floods after days of torrential rainfall in Tunisia, hundreds were rescued and thousands of homes damaged. More than 40,000 people have been affected by the floods. Some of them fled their homes seeking shelter in neighboring high-ground houses and communities. Water supply through pipelines is limited, and the water available in some areas is contaminated. Electricity has been cut off in certain districts to avoid risk to people and electrical damage (IFRC, 2018).

Losses incurred as a result of floods, droughts, and fires were estimated to be \$541.3 million between 2011 and 2018, with 94 percent of deaths attributed to floods and earthquakes (Figure 6).

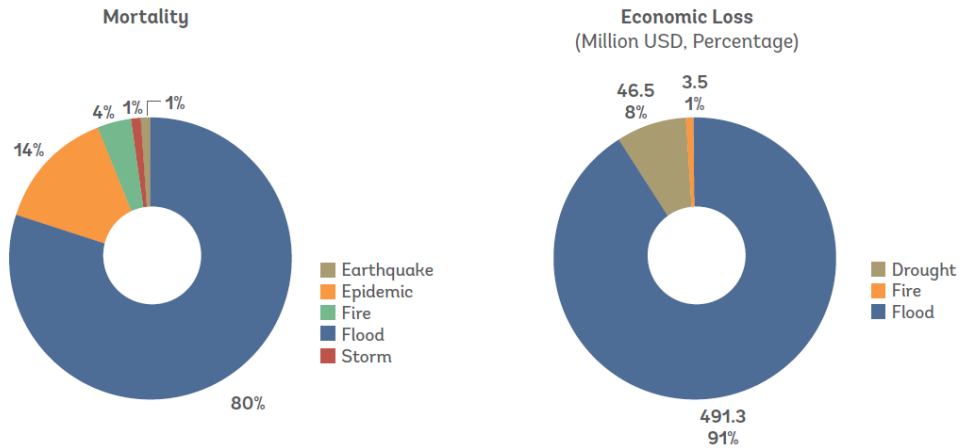


Figure 6. Mortality and Economic Losses (2011–2018), (WB/GFDRR, 2022).

The Tunisian coast hosts two thirds of the country's population, over 70 percent of its economic activities, including tourism, and most of its irrigated agriculture. By 2100, the anticipated sea level rise will directly affect 5 percent of the Tunisian population, its water resources, natural ecosystems, coastal infrastructure, agriculture (e.g. reduction of 10 percent of irrigated areas) and tourism. Due to the importance of coastal tourism, such a rise may have a significant impact on the economy. Droughts, floods, heat waves, and strong winds, in combination with climate-induced decreases in water availability and increased water costs, are likely to have negative effects on tourism in coastal areas. Climate change will intensify the pressure on Tunisia's water resources to meet the demands of a growing urban population and the agriculture, industrial, and tourism sectors (World Bank, 2018).

On Saturday, September 22, torrential rain hit north-eastern Tunisia's Cap Bon Peninsula, causing water levels to rise 1.7 meters. The storm dumped approximately 200 millimeters (7.9 inches) of rain on Nabeul and up to 225 millimeters in the city of Beni Khaled, in the peninsula's center, according to Tunisia's National Institute of Meteorology. This was the heaviest rainfall since the institute began keeping records in 1995. A warning for the storms was issued on September 21st. Floodwater surged through villages, resulting in the loss of 6 lives and damaging infrastructure, houses, properties, and livelihoods of the community members. More than 6,000 families have been affected by the floods. Some of them fled their homes, seeking shelter in neighboring high-ground houses and villages, while others chose to stay in their damaged houses moving to rooftops rather than risking crossing flooded areas to reach evacuation points. Water supply through pipelines is limited, and the water available in some areas is contaminated. Electricity has been cut off in certain districts to avoid risk to people and electrical damage. (IFRC, 2021).

A Rapid Needs Assessment (RNA), conducted by the Government of Tunisia in partnership with the World Bank (WB), the United Nations and the European Union estimated recovery needs at approximately US\$100 million. Most of these needs were in the transport, agriculture, and housing sectors, which were significantly impacted by the flooding. The Nabeul disaster flagged Tunisia's exposure to the growing risks of climate change. The COVID-19 pandemic that began in early 2020 essentially locked down North America, Europe, China, India, and other countries (Gaaloul, 2022). Individuals were advised, sometimes ordered by government agencies, to stay home in order to reduce person-to-person transmission of the virus and to wear a face mask when near other people. The policy of social isolation resulted in far fewer motor vehicles traversing streets and highways, fewer commercial activities such as sporting events, bars and restaurants, and large group activities, all actions that influence climate change dynamics. A further impact of COVID-19 on climate change dynamics was the decline in ridership on buses and trains. A year into the coronavirus pandemic, public transit has experienced a dramatic, dire loss of ridership. Riders remain at home or they remain fearful of boarding buses and trains. As to climate change, public transit offers a relatively simple way for cities to lower their greenhouse gas emissions because fewer automobiles are utilized, resulting in fewer emissions of greenhouse gases (Gaaloul et al., 2022). The impact of climate on mental health has been the subject of an investigation. One set of researchers commented on published literature that found exposure to hurricanes and floods is associated with symptoms of

acute depression as well as posttraumatic stress disorder, Psychiatric hospital visits increase during hotter temperatures, and both heat and drought amplify the risk of suicide. Further, people with preexisting mental health conditions and lower socioeconomic status are among the most vulnerable to these adverse environmental conditions, commented the researchers (Obradovich et al., 2018).

Assuming that the projections of the dire portent of climate change are true, interventions to mitigate climate change go beyond the necessary to the level of vital. Some people might argue that interventions would be extraordinarily costly, burdensome to global societies, and a misuse of resources needed for use by an increasing global human population. But upon reflection of what can already be observed and attributable to climate change (e.g., rising sea levels, melting polar ice, shrinking glaciers), the question must be asked, “Can humankind afford to be wrong about mitigating climate change?” Given this question, interventions must be implemented. Some of the interventions to lessen the hazard posed by climate change are the following:

- On a global scale, support through sociopolitical means, those policies that are based on consensus science, presented in transparent reports, and implemented through diplomatic dialog and resolution.
- On a national scale, support through sociopolitical means those policies and policymakers that advocate for the development and promulgation of policies for climate change mitigation.
- On a personal scale, use objective, transparent sources of climate change information as the basis for personal decisions and policies. This could include choosing consumer products manufactured by sources that have a neutral carbon impact on the environment. Other individual policies might include selecting energy sources that are not carbon-based, e.g., solar power, wind, and geothermal.
- Industrial entities should understand their role in mitigating climate change and redesign or replace carbon-dependent manufacturing processes and products.
- Research on the control of CO₂ emissions should be encouraged. For example, researchers have discovered a new iron-based catalyst that converts CO₂ into jet fuel. If CO₂, rather than oil, were used to make jet fuel, it could reduce the air travel industry’s carbon footprint.



Photo 5. The September 2018 flash floods in the Nabeul governorate (Gaaloul, 2021)

Climate Related Natural Hazards

The phenomenon of climate change is now a reality because of its impact on many areas of our life. The important task of an expert today is to call the attention of humanity to the management of the natural resources that are subjected to disappearing, significant reduction or loss in their quality. The influence of the spatial variability of rainfall on hydrological rain-flow modeling is an active research topic, as evidenced by the abundant literature published in recent years. A proper understanding of rainfall patterns and trends may help water resource development to make decisions about the development activities of that region. The bioclimate of Tunisia varies from sub-humid (North) to Saharian (South). The precipitation, in the North of Tunisia, are very variable in time and space. The valley of Medjerda belongs to this category where the flooding is very frequently given the relief, the climate, the river morphology, the land cover, etc. The quantification of the various components of hydrological processes in a watershed remains a challenging topic as the hydrological system is altered by internal and external drivers. Watershed models have become essential tools to understand the behavior of a catchment under dynamic processes.

Tunisia has a high degree of risk to natural hazards. The country experiences disasters such as flash flooding, droughts, storms, sandstorms, and earthquakes; sea-level rise also poses a significant threat to the country's coastline, not only due to inundation and salinization but also from increasingly harmful storm surges. The region has also been impacted by an increase in frequency and intensity of extreme weather events such as heavy rainfall, landslides, and flooding, as well as droughts. An increased frequency of extreme events, such as droughts, soil erosion, and desertification. The country is expected to become generally hotter and drier in projected future climates, and as such, Tunisia is increasingly severely impacted by and susceptible to drought. While drought conditions are generally a common occurrence, Tunisia has experienced increasingly frequent occurrences of aridity and drought in recent years (UNISDR, 2013). Sea level rise is projected to lead to the loss of a sizable proportion of the northern and eastern coastlines due to a combination of inundation and erosion, with consequential loss of agricultural land, infrastructure, and urban areas. (Reimann et al., 2018).

Data from the Emergency Event Database: EM-Dat database, presented in Table 5, shows the country has endured various natural hazards, including floods, landslides, epidemic diseases, and storms.

Table 5. Natural disasters in Tunisia, (EM-DAT, 1900–2020)

Natural Hazard 1900–2020	Subtype	Events Count	Total Deaths	Total Affected	Total Damage ('000 USD)
Drought	Drought	2	0	31,400	0
Earthquake	Ground Movement	1	13	0	0
Flood	Flash Flood	5	69	37,508	36,000
	Riverine Flood	4	49	180,500	242,800
Insect Infestation	Locust	2	0	0	0
Wildfire	Forest Fire	1	0	2,000	0

Disaster risk from increased temperatures and reduced precipitation is expected to exacerbate existing tensions for water resources between agricultural, livestock, and human needs, especially during periods of high aridity and drought. The existing quality of available water from surface water and groundwater is also likely to be altered. Water scarcity and changing rainfall patterns will play a significant role in the agricultural sector (Tunisia, 2019).

Currently, the growing need for fresh-water supplies in the coastal aquifers is rapidly increasing due to steady population growth and intensive economic activity. However, this resource is especially susceptible to deterioration owing to its closeness to seawater, in addition to the excessive water needs that accompany higher population densities and agricultural activities. Increased temperatures and degraded agricultural conditions are expected to adversely impact the livelihoods and economic resilience of vulnerable groups, as well as increase the risks of wildfires. Most of the country's population and infrastructure are concentrated along the Mediterranean coast, making the country additionally vulnerable to the impacts of sea level rise and coastal erosion, particularly inundation and saltwater intrusion. Figure 7 presents the risk of coastal flooding and wildfires in Tunisia (European Commission, 2018).

Climate change is expected to increase the risk and intensity of water scarcity and drought across the country. The primary sectors affected are water, agriculture, forestry, human health, and livestock. Additionally, the increased frequency of intense precipitation events will lead to a heightened risk of flooding, river bank overflow,

and flash flooding. Flooding may also result in soil erosion and water logging of crops, thus decreasing yields with the potential to increase food insecurity, particularly for subsistence-scale farmers. Higher temperatures with increased aridity may also lead to livestock stress and reduced crop yields. This is likely to result in significant economic losses, damage to agricultural lands and infrastructure, as well as human casualties. Furthermore, land degradation and soil erosion, exacerbated by recurrent flooding and drought adversely impacts agricultural production, further affecting the livelihoods of the rural poor. Small rural farmers, are more sensitive to the impacts of these types of disasters (floods, dry periods) because they have limited resources with which to influence and increase adaptive capacity (Tunisia, 2019).

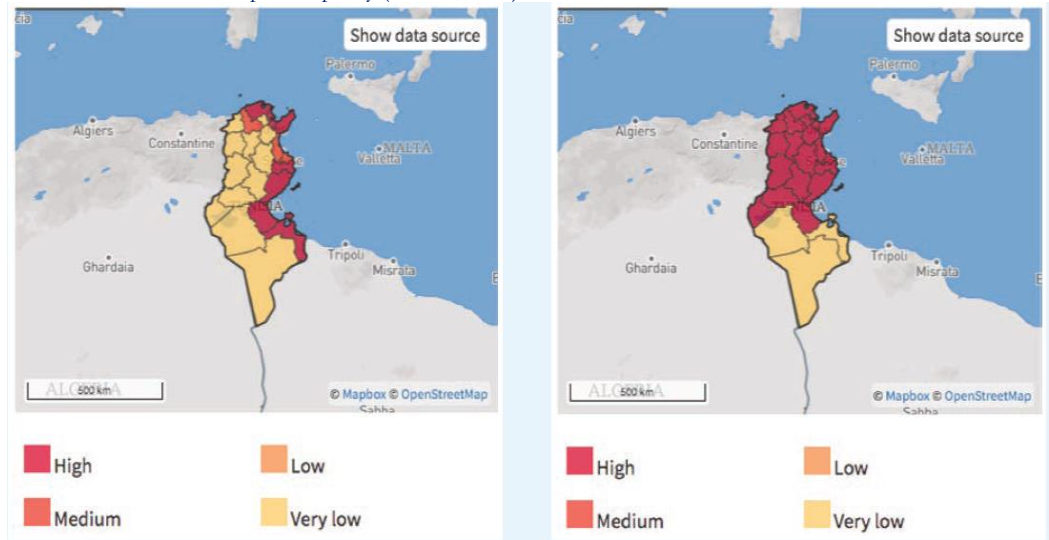


Figure 7. Risk of Coastal Flood (left) (ThinkHazard; 2019a); Risks of Wildfires (right) (ThinkHazard, 2019b)

Tunisia is projected to experience decreases in average rainfall, resulting in increases in the intensity and frequency of dry periods and water scarcity. Increases in temperature should reduce soil moisture, surface water, and underground water storage. These are likely to worsen the increasing water needs, notably for human use, but more particularly for agriculture, given the increase in evapotranspiration and the decrease in soil humidity. Most of the country's groundwater comes from deep aquifers in the south, among which the largest resources are non-renewable fossil groundwater. Currently, the country is undergoing intensive exploitation of underground resources, which provide around 81% of the water needs of the irrigated sector (Republic of Tunisia, 2016).

Tunisia is also expected to experience a decrease in water availability, with greater decreases in water stocks experienced in the northern areas of the country, where ground water is the primary source for agriculture and human consumption. The country's water resource scarcity by the 2050s is expected to be significant and is likely to result in further drying of key water sources, especially for rural communities and in central and southern areas. Water use conflicts are already occurring and are becoming more severe in Tunisia, particularly during drought periods rural areas relying on springs for drinking water will be the most affected, given the drying up of these springs. Women are likely to be even more vulnerable, considering that they are often responsible for water supply and hygiene in the household. The poorest people, including crisis between different regions of the country (Tunisia, 2019).

Rainfall and evaporation changes also impact degrees of surface water infiltration, and recharge rates for groundwater, and low-water storage capacity increasing the country's dependence on unreliable rainfall patterns. Changes in rainfall and evaporation translate directly to changes in surface water infiltration and groundwater recharge. This has the potential for further decreased reliability of unimproved groundwater sources and surface water sources during droughts or prolonged dry seasons. Increased strain on pump mechanisms can lead to breakdowns if maintenance is neglected, and the potential for falling water levels near wells or boreholes,

particularly in areas of high demand. Additionally, temperature increases have the potential to result in increased soil moisture deficits even under conditions of increasing rainfall.

Tunisia has already lost more than 90 km of beaches due to erosion or due to the construction of artificial defense structures. Of the 570 km of existing beaches, 190 km are classified as very degraded and likely to disappear. Tunisia is also expected to experience loss through the submersion of approximately 16,000 ha of agricultural land in low-lying coastal areas and approximately 700,000 ha of built-up areas. Salinization is expected to impact up to 50% of the resources available in coastal aquifers, with the potential to indirectly jeopardize the sustainability of 38,000 ha of irrigable land by the 2050s (10% of currently irrigated land). The country's burgeoning tourism industry is expected to see a decline in activity due to retreating beaches, with losses estimated at USD 2 billion, approximately 0.5% of annual GDP. Losses are expected to occur primarily in the tourism sector (55%) and agriculture sector (45%), with the further loss of an estimated 36,000 jobs in the tourism and agriculture sectors.

However, for the Tunisia region, a comprehensive analysis of water demand and scarcity over the next 50 years has been conducted using a combination of hydrological and water resource models, remote sensing, and socioeconomic changes. Studies published so far have not been able to reveal the full picture as their focus has been on a limited number of aspects only. Outstanding issues with previous studies include the following (Gaaloul, 2011):

- (i) They focus only on climate or agriculture;
- (ii) They are based on statistics rather than a thorough hydrological analysis;
- (iii) they are based on annual or monthly approaches rather than on the required daily approach to capture hydrological processes;
- (iv) they use only a limited number of GCM realizations;
- (v) They use coarse spatial resolution to model the hydrology;
- (vi) they do not include socio-economic aspects.

Conclusion

Tunisia is a water-scarce country and substantial imbalances exist in water resource distribution between the better endowed north and the semi-arid south in regards to water balance, storage, and water distribution. The country has a 90% mobilization rate of water resources through dams, whereas groundwater resources already overexploited. A network of canals and transfers exists to transport water from the north to the south. The country's main permanent watercourse is the Medjerda River, with sources in Algeria and on which Tunisia's largest dam, the Sidi Salem dam, is located. Rainwater also infiltrates the soil and contributes to the country's water reserves for rainfed agriculture, with the remaining water stored in wetlands or flowing towards the sea. While the country has made significant progress in regards to its water supply, sanitation, and water-related health services, significant imbalances and lack of access still remain high. Inequalities persist with regard to service availability, water quality, and access, particularly across different geographies and between urban and rural populations.

Understanding natural hazard occurrences as well as historical climate conditions, in relation to development contexts, is critical to understanding a country's historical vulnerability. This tool allows the visualization of different natural hazards or historical climate conditions with socio-economic and development datasets.

Climate variability and human activity have critical impacts on the sustainability of natural water resources, which may lead to the over-abstraction and deterioration of water quality. In the context of climate change and an increasing demand for water, it is important to stress the distinction between vulnerability and exposure to dangers. Vulnerability is made clear when exposure to dangerous forces occurs. However, people who are more exposed can, in fact, be less vulnerable if provided with adequate protection. Limited exposure may offset unusual weaknesses – what might be termed the trade-offs of frontline responders, firefighters, or lighthouse keepers. Then again, those whose losses stand out in disasters tend to exhibit both adverse exposure and multiple vulnerabilities. In the 2020 covid-19 pandemic, for example, social inequities, indifference, or neglect were the scandalous partners of the plague. Greater concentrations of infections and mortality affect people and groups already disadvantaged. Frontline workers were widely denied adequate protection and support – though called 'essential'. People with preexisting health-related weaknesses and insecure livelihoods have proved more at risk. They include, especially, women, racialized groups, migrant workers, needy children, and the uncared-for elderly. When students of disaster take power seriously, they can contribute to a critical assessment of policies that disregard, condone, or are complicit in displacement and risk creation. Disaster studies can also help to understand increasing citizens resistance to the systems of power that have brought the planet and humanity face to face with increasing daily risk for some, and existential risk for all.

The latest and current global-level disaster is the COVID-19 (and variants) pandemic. Research and investigations into the cause and potential responsibility for the pandemic are still ongoing (early 2021) and a clear and definitive answer may never be achieved. It seems clear, however, that the virus originated in an animal species.

Growing salience among a range of underlying factors and root causes are climate change, pandemics, and economic and technical globalizaTion. Long gone are the days when it seemed reasonable to refer to 'natural' disasters because the disasters in question were caused by extreme natural events. It has come to be understood, after many decades of debate, that disasters are the result of human choices which help to create and perpetuate local and personal vulnerability. With the advent of climate change, the role of climate change in destabilising atmospheric processes, increasing the frequency and magnitude of extreme events, and the emergence of epidemics and pandemics, it is now apparent that the underlying causes of disasters include the whole global system of economic growth and development. Vulnerability is no longer only, or mainly, localised, it is widespread and global.

REFERENCES

1. ASCE (2001). Standard Guidelines for Artificial Recharge of Ground Water, Environmental and Water Resources Institute, American Society of Civil Engineers (ASCE), EWRI/ASCE 34-01, USA.
2. Ben Ahmed Zaag (2017). The economic importance of dates production in Tunisia. Ministry of Agriculture, Water Resources and Fisheries. Presentation available at <https://cirs.ucr.edu/sites/g/files/rcwecm2631/files/2019-12/dorsaf-ben-ahmad-zaag-tunisia-rpw-conference-2017.pdf>
3. Boudhraâ et al., (2015). Autopsie des événements hydrométéorologiques extrêmes de 1969 en Tunisie. PIAHS, 369, 169-173, <https://piahs.copernicus.org/articles/369/169/2015/>
4. Caillouet, L., Vidal, J.P., Sauquet, E., Devers, A., Graff, B. (2017). Ensemble reconstruction of spatio-temporal extreme low-flow events in France since 1871, Hydrol. Earth Syst. Sci. 21 (2017) 2923–2951, <https://doi.org/10.5194/hess-21-2923-2017>.
5. Camarero, J.J., Gazol, A., Sanguesa-Barreda, G., Oliva, J., Vicente-Serrano, S.M. (2015). To die or not to die: early warnings of tree dieback in response to a severe drought, J. Ecol. 103 (2015), <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12295>.
6. Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sañchez, G., Penuelas, J. . (2011). Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 108 (2011) 1474–1478, <https://doi.org/10.1073/pnas.1010070108>.
7. Cary L., Casanova J., Gaaloul N., Guerrot C. (2013). Combining boron isotopes and carbamazepine to trace sewage in salinized groundwater: a case study in Cap Bon, Tunisia. *Applied chemistry*, 34, 126-139.
8. Cathy L., Thomas S. (2016). The Future of Drylands. International Scientific Conference on Desertification and Drylands Research Tunis, Tunisia, 19-21 June 2006. UNESCO Publishing. 815 pages.
9. Center for Research on the Epidemiology. (2016). disaster data: a balanced perspective. cred crunch issue no. 41.
10. Crossett, K. M., Culliton, T. J., Wiley, P. C., and Goodspeed, T. R. (2004). Population Trends Along The Coastal United States: 1980–2008. National Ocean Service, National Oceanic And Atmospheric Administration.
11. DGRE, 2009. Annuaire Hydrologique de la Tunisie 2007- 2008, Ministère de Agriculture et des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, Direction Générale des Ressources em Eau, 241p, ISBN: 0330-8634.
12. DGRE, 2018. Crue du 22 Septembre 2018, Gouvernorat de Nabeul.
13. Dixon H., et al., 2020. Intergovernmental cooperation for hydrometry – what, why, how? Hydrological Sciences Journal, in press, <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1764569>
14. Edward A. Keller and Duane E . DeVecchio. (2019). Natural Hazards. Earth 's Processes as Hazards , Disaster , and catastrophes. Fifth edition published 2019. Routledge 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon, OX14 4RN and by Routledge
15. EM-DAT (1900-2020). The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir, Brussels, Belgium. URL:http://emdat.be/emdat_db/
16. European Commission (2018). The Future of Climate Action in the South Mediterranean Region. Lessons Learned Since the Paris Agreement. ClimaSouth project. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/70f66617-2cbc-11e8-b5fe-01aa75ed71a1/language-en>
17. FEMA (Federal Emergency Management Authority). (2017). Definitions. <https://www.fema.gov/national-flood-insurance-program/definitions>
18. Gaaloul, M., (2022). Covid-19's impact on Architecture, Urbanism and Health. International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET). ISSN (On line): 1737-9350; ISSN (Print): 1737-6688; Volume VII - Issue 1 – March 2022., pp 5-17. <http://jistee.org/wp-content/uploads/2022/04/MeriamGaaloul-pp5-17-2.pdf>
19. Gaaloul N. and Eslamian S. (2021). Groundwater Quality in Arid Environments. In: Leal Filho W., Azul A.M., Brandli L., Lange Salvia A., Wall T. (eds) Clean Water and Sanitation. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70061-8_132-1
20. Gaaloul N., (2021). Water Resources and Climate Change from History to Covid'19 Vaccines in the MENA Regions (Middle East and North Africa). 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>

21. Gaaloul, N., Eslamian, S. and R Katlane, R. (2021). Tunisian experiences of Traditional Water Harvesting, Conservation and Recharge. Chapter 12. pp.171-198.. Volume Handbook of Water Harvesting and Conservation ((Wiley). <https://doi.org/10.1002/9781119776017.ch12>
22. Gaaloul N. (2008). The role of groundwater during drought in Tunisia. Book Publication: Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and in North Africa. Ed. Fathi Zereini, J.W. Goethe-Universität, Frankfurt am Main, Germany; Heinz Hötzl, Universität (FH) Karlsruhe, Germany (Eds.) Springer-Verlag. As, pp,239-266. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-85047-2_18
23. Gaaloul, N. (2011) Water resources and management in Tunisia, *International Journal of Water*, 6(1/2): 92–116. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJW.2011.043319>
24. Gaaloul, N., and Eslamian, S. (2014). Artificial Recharge Experiences in Semiarid Areas, in Handbook of Engineering Hydrology, Ch. 2, Vol. 3: Environmental Hydrology and Water Management, Ed. By Eslamian, S., Francis and Taylor, CRC Group, USA, 17-49.
25. Gaaloul, N., Eslamian, S., and Laignel, B. (2017). Contamination of Groundwater in Arid and Semiarid Lands, Ch. 16 in Handbook of Drought and Water Scarcity, Vol. 2: Environmental Impacts and Analysis of Drought and Water Scarcity, Ed. by Eslamian S. and Eslamian F., Francis and Taylor, CRC Press, USA, 291-314.
26. Gaaloul, N., Eslamian, S., Katlane, R. (2022) Impact of Climate Change on Water and Health. International Journal Water Sciences and Environment Technologies (JISTEE). ISSN (ectronic): 1737-9350; ISSN (printed): 1737-6688; Volume VII - Issue 2 – June 2022, pp.49-60. <http://jistee.org/wp-content/uploads/2022/06/Gaaloul-Noureddine-pp49-60.pdf>
27. Gaaloul, N., Laignel, B., Nouacer, Z., Habaieb, H. (2015) Impact des changements climatiques sur les eaux souterraines en Tunisie. *Revue Géologues*. Numéro 187. Décembre 2015. Impact du changement global sur les ressources en eau souterraine.
28. Giuntoli, I., Renard, B., Vidal, J.P., Bard, A. (2013). Low flows in France and their relationship to large-scale climate indices, *J. Hydrol.* 482 (2013) 105–118, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.038>.
29. Government of Germany (GoG) and Government of Tunisia (GoT) (2016). Système d'Alerte Précoce (SAP) pour la Gestion des Risques Liés aux Extrêmes Climatiques en Tunisie –Elaboration d'un Etude de Faisabilité – Rapport de phase 3 final, Coopération financière Germano-Tunisienne, République de Tunisie, ME, DGEQV, Agrer GrupoTyspa
30. Government of Tunisia (GoT), World Bank (WB), United Nations (UN) and European Union (EU), 2018. PDNA Tunisie – Analyse des besoins suite aux inondations du Cap Bon.
31. Hamza, M. and Khanfir, R. (1991). Evaluation du potentiel et de l'exploitation des ressources en eau souterraine de la Tunisie (Nappes phréatiques et profondes), *Ressources en eau de la Tunisie*, Vol. 1, No. 12, pp.50–61.
32. Hénia, L. (2001). Les grandes sécheresses en Tunisie au cours de la dernière période séculaire, *Eau, Environnement et milieux méditerranéens*, ENS Editions, p. 25-36.
33. Hoyvis, P., Below, R., Scheuren, J.-M., and Guha-Sapir, D. (2007). Annual disasters statistical review: Numbers and trends 2006. Brussels, Belgium: University of Louvain, Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)
34. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewIV5qOm96L5AhX2X_EDHbdNBFIQFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.geosoc.fr%2F%2Fsommaires-et-resumes-geologues%2F1091-187-impact-du-changement-global-sur-les-ressources-en-eau-souterraine-1%2Ffile.html&uscq=AOvVaw3uP0TBC-2KWut4UWgSf0bM
35. https://www.morebooks.shop/bookprice_offer_2d8af3cb6075abfd6b89d0bf8095f8c1e5beaa11?locale=gb%2C%2A4cy=EUR
36. Wilhite, D.A. (2000). Drought as a natural hazard: concepts and definitions, in: D.A. Wilhite (Ed.), *Drought A Glob. Assessment*, vol. 1, Drought Mitigation Center Faculty Publications, 2000, pp. 3–18.
37. INNORPI. Institut National de la Normalisation et de la Propriete Industrielle. (1989). *Environment Protection - Use of reclaimed water for agricultural purposes - Physical, chemical and biological specifications* (in French), Tunisian standards, INNORPI, NT 106.03 FAO AQUASTAT. 2005. Mauritania Country Profile
38. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC) (2006). *World Disaster Report 2006—Focus on Neglected Crises*. Geneva, Switzerland: IFRC.
39. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC) (2016). *World Disaster Report—Resilience: Saving Lives Today, Investing for Tomorrow*. Geneva, Switzerland: IFR

40. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC) (2018). Emergency Plan of Action (EPoA) Tunisia : Flash Floods .19 pages. <https://reliefweb.int/attachments/699c6594-d23e-3354-9ca2-b4bcde5c2990/MDRTN008.pdf>
41. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC) (2021). Emergency Plan of Action (EPoA) Tunisia : Flash Floods .16 pages. <https://adore.ifrc.org/Download.aspx?FileId=349509>
42. Jacobs C. and K. van 't Klooster (2012). Water and Agriculture in the Maghreb. Alterra, Wageningen. Available at <https://www.semanticscholar.org/paper/Water-and-agriculture-in-the-Maghreb-Jacobs-Klooster/e8e110ba06d30061b6c26478a67dd948c6a729b6>
43. John, S., Kijne, J.W., Attia, F.A.R., El-Shaer, H., Himida, I., Zouari, K., Gaaloul, N., Jamal, M., Arslan, A., Dayoub, K., Fardous, A.N., Mudabber, M., Jitan, M. and Badwan, R. (2006) Prospects for Productive Use of Saline Water in West Asia and North Africa, Comprehensive Assessment Research Report 11, p.54.
44. Jonkman, S. N., and I. Kelman. (2005). An Analysis of the Causes and Circumstances of Flood Disaster Deaths. *Disasters* 29(1): 75–97.
45. Lexander, D. (2000). *Confronting Catastrophe: New Perspective on Natural Disasters*. New York: Oxford University Press.
46. Lorenzo-Lacruz, J. , Vicente-Serrano, S.M., Gonza'lez-Hidalgo, J.C. , Lo'pez-Moreno, J.I. , Cortesi, N. (2013). Hydrological drought response to meteorological drought in the Iberian Peninsula, *Clim. Res.* 58 (2013), <https://doi.org/10.33354/cr01177.P>
47. Lorenzo-Lacruz, J., Garcia, C., Mora'n-Tejeda, E. (2017). Groundwater level responses to precipitation variability in Mediterranean insular aquifers, *J. Hydrol.* 552 (2017) 516–531, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.011>.
48. Mamou, A. (1993) 'Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau en Tunisie', Direction Générale des Ressources en Eau, No. 1, pp.12–35.
49. Ministère de l'agriculture, des ressources hydrauliques et de la pêche (MARHP), (2019). Les inondations du 10 septembre 2019 à L'Ariana.
50. Montz, B. E., G. A. Tobin, and R. R. Hagelman, III. (2017). *Natural Hazards: Explanation and Integration*. New York: The Guilford Press.
51. Mouelhi S. and Laatiri L., (2014). Drought conditions and management strategies in Tunisia, 10pp. <https://www.droughtmanagement.info/literature/UNW-DPC-NDMP-Country-Report-Tunisia-2014.pdf>
52. Obradovich, N., R. Migliorini, M. P. Paulus, I. Rahwan. (2018). Empirical evidence of mental health risks posed by climate change. *PNAS* 115(43):10953–8.
53. Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), 2013. Vers un système d'alerte précoce à la sécheresse au Maghreb\ OSS. _ Collection Synthèse n° 4. _ OSS : Tunis, 2008. _ 84 pp., http://193.95.75.173/sites/default/files/publications/OSS-SMAS-CS4_Fr.pdf
54. ONAS, (2020). Etude des aspects institutionnels et financiers de la gestion des eaux pluviales en milieu urbain. Phase 3 : Plan d'action pour la mise en oeuvre des réformes et mesures recommandées.
55. Pa'coia, P., Gouveia, C.M. , Russo, A. Trigo, R.M. (2016). The role of drought on wheat yield interannual variability in the Iberian Peninsula from 1929 to 2012, *Int. J. Biometeorol.* (2016) 1–13, <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1224-x>.
56. Pasho, E., Camarero, J.J., de Luis, M., Vicente-Serrano, S.M. (2011). Impacts of drought at different time scales on forest growth across a wide climatic gradient in north-eastern Spain, *Agric. For. Meteorol.* 151 (2011), <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.07.018>.
57. Pausas, J.G., Fernandez-Munoz, S. (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime, *Clim. Chang.* 110 (2012) 215–226, <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0060-6>.
58. Perera et al., (2019). Flood Early Warning Systems: A review of benefits, challenges and prospects. UNU-INHWEH Report series, Issue 08.Rodier et al., 1981. Le bassin de la Mejerdah. DGRE & ORSTOM.
59. Reimann, L., Vafeidis, A., Brown, S., Hinkel, J., and Tol, R. (2018). Mediterranean UNESCO World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sea-level rise. *Nature Communications* (2018) 9:4161. DOI: 10.1038/s41467-018-06645-9. URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-018-06645-9.pdf>
60. Republic of Tunisia (2016). Nationally Determined Contribution. URL: <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Tunisia%20First/INDC-Tunisia-English%20Version.pdf>

61. République Tunisienne, (2019.) Rapport National Volontaire dur la mise en oeuvre des Objectifs du Développement Durable. Forum Politique de Haut Niveau pour le Développement Durable, New York.
62. Resolve and GIZ (2013). Tunisia Report: Adapting to climate change. Available at <http://www.government.nl>
63. Rodier et al., (1981). Le bassin de la Mejerdah. DGRE & ORSTOM.
64. Rubio-Cuadrado, A., Camarero, J.J., del Rio, M., Sanchez-Gonzalez, M., Ruiz-Peinado, R., Bravo-Oviedo, A., Gil, L., Montes, F. (2018). Drought modifies tree competitiveness in an oak-beech temperate forest, *For. Ecol. Manag.* 429 (2018) 7–17, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.06.035>.
65. Ruffault, J., Curt, T., Martin-Stpaul, N.K., Moron, V., Trigo, R.M. (2018). Extreme wildfire events are linked to global-change-type droughts in the northern Mediterranean, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 18 (2018) 847–856, <https://doi.org/10.5194/nhess-18-847-2018.A>
66. Scaini, A., Sánchez, N., Vicente-Serrano, S.M., Martínez-Fernández, J. (2015). SMOS-derived soil moisture anomalies and drought indices: a comparative analysis using in situ measurements, *Hydrol. Process.* 29 (2015), <https://doi.org/10.1002/hyp.10150.W>
67. Smith, K., and R. Ward. (1998). *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. New York: John Wiley & Sons SNC 2013. Tunisia's Second National Communication to the UNFCCC (SNC) (2013).
68. Souissi, A. (2001) Tunisia : Environment and Sustainable Development Issues and Policies, Plan Bleu Centre d'activités régionales. Sophia Antipolis, pp.7–9.
69. ThinkHazard (2019a). Tunisia - Coastal Flooding. URL: <http://thinkhazard.org/en/report/248-tunisia/CF>
70. ThinkHazard (2019b). Tunisia - Wildfire. URL: <http://thinkhazard.org/en/report/248-tunisia/WF>
71. Tunisia (2019). Tunisia's Third National Communication as part of the UNFCCC. URL:<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Synth%C3%A8se%20Ang%20Finalis%C3%A9.pdf>
72. UNISDR (2013). Factsheet: Overview of Disaster Risk Reduction in the Arab Region. URL: https://www.unisdr.org/files/31693_drrfactsheetarabregionfinal.pdf
73. United Nations Economic and Social Commission for West Asia (2019). Status Report on the Implementation of Integrated Water Resources Management in the Arab Region: Progress on SDG indicator 6.5.1.
74. Van der Gaast, M. (2018) Tunisia: Business Opportunity Report, Focus on Agriculture. NABC. Available at https://nabc.nl/wp-content/uploads/2020/08/NABC-Tunisia-Report_FINAL.pdf
75. Verner (2013). Tunisia in a Changing Climate: Assessment and Actions for Increased Resilience and Development. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-0-8213-9857-9 Also a=456789available at <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/13114>
76. Vicente-Serrano, S.M. (2016). Foreword: drought complexity and assessment under climate change conditions, *Cuad. Investig. Geogr.* 42 (2016), <https://doi.org/10.18172/cig.2961>.
77. WB/GFDRR. (2008) “Weather and Climate Services in Europe and Central Asia: A Regional Review.” Working Paper No. 151, World Bank, Washington, DC.
78. WB/GFDRR. (2022). Strengthening Hydromet and Early Warning Systems and Services in Tunisia: A Road Map, 110 pp. https://reliefweb.int/attachments/b41952db-5adf-4957-8d2f-99c425fae8b8/Tunisia%20Hydromet%20Roadmap_ENG_web.pdf
79. Wilhite, D.A., Pulwarty, R.S. (2017). Drought as hazard: understanding the natural and social context, in: *Drought Water Crises: Integrating Science, Management, and Policy*, Taylor & Francis Group, CRC Press, Boca Raton, 2017, pp. 3–22.
80. Wilhite, D.A., Svoboda, M.D., Hayes, M.J. (2007). Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness, *Water Resour. Manag.* 21 (2007) 763–774, <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9076-5>.
81. WMO, (2014). The WMO Strategy for Service Delivery and Its Implementation Plan. WMO-No. 1129. Geneva: WMO. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7854
82. World Bank, (2018). Water: Tunisia's other development challenge. Available at <http://www.worldbank.org/en/news/feature/2014/09/04/water-tunisia-s-other-development-challenge>

JOURNAL INTERNATIONAL

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

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

Volume (viii) - Numéro 1 – Mars 2023

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



**Pénurie d'eau, hausse des températures...
Face au changement climatique, de la lutte à
l'adaptation ?**

Rédacteur en Chef : Pr Noureddine Gaaloul

Publié par :

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



Comité Scientifique International (CSI-ESC'2023)

<i>Noureddine Gaaloul</i>	<i>Prof. Université de Carthage – IRESA - INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Hamadi Habaieb</i>	<i>Prof. Université de Carthage – IRESA -IN-AT (Tunisie)</i>
<i>Zouhaier Nasr</i>	<i>Prof. Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Hachicha</i>	<i>Prof. Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Zouhaier Hlaoui</i>	<i>Prof. Université de Tunis - Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis (Tunisie)</i>
<i>Adel Kharroubi</i>	<i>Prof. Université de Gabès – ISSTEG (Tunisie)</i>
<i>Rachid Boukebina</i>	<i>M.Conf. Université de Gabès – ISSTEG (Tunisie)</i>
<i>Noureddine Hamdi</i>	<i>Prof. Université de Gabès – ISSTEG (Tunisie)</i>
<i>Taoufik Hermassi</i>	<i>M.Conf. Université de Carthage – IRESA -INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Habib Sellami</i>	<i>M.Conf. Université de Jendouba – IRESA- ESIM (Tunisie)</i>
<i>Hechmi Belaid</i>	<i>M. Assistant. Université de Jendouba -IRESA- ESIM (Tunisie)</i>
<i>Rim Katlane</i>	<i>M.Conf. Université de la Manouba - Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités (Tunisie)</i>
<i>Ibrahimia Amadou Traoré</i>	<i>Expert Hydrogéologue</i>
<i>Mohamed Meddi</i>	<i>Prof. ENSH, (Algérie)</i>
<i>Azgedine Hani</i>	<i>Prof. Univ. Annaba (Algérie)</i>
<i>Larbi Djabri</i>	<i>Prof. Univ. Annaba (Algérie)</i>
<i>Salah Eddine Ali Rahmani</i>	<i>Prof. Univ. des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Algérie)</i>
<i>Saadane Djorji</i>	<i>Prof. Université de Annaba (Algérie)</i>
<i>Mohammed Achite</i>	<i>Prof. Université de Chlef (Algérie)</i>
<i>Abdelhalim Yabiaoui</i>	<i>Prof. Université de Bechar (Algérie)</i>
<i>Mohamed Bessenasse</i>	<i>Prof. Université de Saad Dablab- Blida (Algérie)</i>
<i>Benabadi Nonry</i>	<i>Prof. Université de Tlemcen (Algérie)</i>
<i>Abdessamad Merzouk</i>	<i>Prof. Université de Tlemcen (Algérie)</i>
<i>Beloulou Laroussi</i>	<i>Prof. Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)</i>
<i>Abdelhalim Yabiaoui</i>	<i>M.Conf. Univ. Bechar (Algérie)</i>
<i>Gnergazj Saadia</i>	<i>M.Conf. Université de Biskera (Algérie)</i>
<i>Guenouaz Abdelhamid</i>	<i>M.Conf. Université de Blida1 (Algérie)</i>
<i>Khoulalia Wacila</i>	<i>M.Conf. Université de Souk-Abras (Algérie)</i>
<i>Belkacem Bekkoussa</i>	<i>M.Conf. Université Mustapha Stambouli de Mascara (Algérie)</i>
<i>Ali Essablaoui</i>	<i>Prof. Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)</i>
<i>El Ouadi Abdelhadi</i>	<i>Prof. Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)</i>
<i>Abdellah El Hmaidi</i>	<i>Prof. Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)</i>
<i>Imad Manssour</i>	<i>Prof. Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)</i>
<i>Abdelmajid Nadoumen</i>	<i>Prof. Université Nadour (Maroc)</i>
<i>Mbamed Anyay</i>	<i>Prof. Université de Fès (Maroc)</i>
<i>Abdelaziz Abdallaoui</i>	<i>Prof. Université Moulay Ismail (Maroc)</i>
<i>Nadia Lablou</i>	<i>M.Conf. Université Mohamed V Rabat (Maroc)</i>
<i>Amadou Thierno Gaye</i>	<i>Prof. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, (Sénégal)</i>
<i>Sousou Sambou</i>	<i>Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)</i>
<i>Diop Ngom Fatou</i>	<i>Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)</i>
<i>Abdoulaye Faty</i>	<i>Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)</i>
<i>Soro Nagnin</i>	<i>Prof. UFR STRM (Cote d'Ivoire)</i>
<i>Gnamba Franck Maxime</i>	<i>Prof. UFR STRM (Cote d'Ivoire)</i>
<i>Soro Nagnin</i>	<i>Prof. UFR STRM (Cote d'Ivoire)</i>
<i>Cusb Ngonzo Luwesi</i>	<i>Prof. Univ. Dem. Rep. (Congo)</i>
<i>Koussoubon A. Leonard</i>	<i>Prof. FLLAC/ UAC (Congo)</i>
<i>Koumassi Dégla Hervé</i>	<i>Prof. LACEEIDE/ UAC (Bénin)</i>
<i>Hamma Yaouba</i>	<i>Prof. 2IE (Burkina Faso)</i>
<i>Harouna Karambiri</i>	<i>Prof. 2IE (Burkina Faso)</i>
<i>Lienou Gaston</i>	<i>Prof. Univ. Yaoundé (Cameroun)</i>
<i>Gnandi Kissao</i>	<i>Prof. Univ. Lomé (Togo)</i>
<i>Hamadou Bokar</i>	<i>Prof. Univ. ENI-abt (Mali)</i>
<i>Salina Sanou</i>	<i>Pan African Climate Justice Alliance (Kenya)</i>
<i>Saeid Eslamian</i>	<i>Prof. Université de Isfahan (Iran)</i>
<i>Amadou Gaye</i>	<i>Prof. CR4D (Ethiopia)</i>
<i>Richard Anyah</i>	<i>Prof. CR4D (Ethiopia)</i>
<i>Benjamin Lamptey</i>	<i>Prof. CR4D (Ethiopia)</i>
<i>Aqeel Al-Adili</i>	<i>Prof. Univ. Technology (Iraq)</i>
<i>Moumtaz Razack</i>	<i>Prof. Université de Poitiers (France)</i>
<i>Lucila Candella</i>	<i>Prof. Univ. Catalonia (Spain)</i>
<i>Fotis K. Pliakas</i>	<i>Prof. Univ. Thrace (Greece)</i>
<i>Andreas Kallioras</i>	<i>Prof. Univ. Athens (Greece)</i>
<i>Christoph Schüth</i>	<i>Prof. Tech.Univ. Darmstadt (Germany)</i>
<i>Jean-François Deliege</i>	<i>Prof. Univ. de Liège (Belgique)</i>
<i>Meriam Gaaloul</i>	<i>Faculty of Architecture La Cambre Horta - ULB (Belgique)</i>

Préface



L'eau – au cœur de la crise climatique

Le changement climatique exacerbe à la fois la rareté de l'eau et les risques liés à l'eau (tels que les inondations et les sécheresses), car la hausse des températures perturbe les régimes de précipitations et l'ensemble du cycle de l'eau. Nations Unies. Il existe un lien indissociable entre l'eau et les changements climatiques. Les changements climatiques ont des répercussions complexes sur l'eau dans le monde. Qu'il s'agisse de l'imprévisibilité des précipitations, du rétrécissement des calottes glaciaires, de l'élévation du niveau de la mer, des inondations ou des sécheresses, la plupart des conséquences des changements climatiques sont liées à l'eau (ONU-Eau). Les changements climatiques aggravent à la fois la pénurie d'eau et les risques liés à l'eau (tels que les inondations et les sécheresses), car la hausse des températures perturbe le régime des précipitations et l'ensemble du cycle de l'eau (UNICEF-en anglais).

Pénurie d'eau : *Aujourd'hui, environ deux milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'eau potable (Rapport sur les objectifs de développement durable 2022) et près de la moitié de la population mondiale connaît de graves pénuries d'eau pendant au moins une partie de l'année (GIEC - en anglais). Les changements climatiques et la croissance démographique devraient exacerber ces chiffres (OMM). Seul 0,5 % de l'eau sur Terre est douce, utilisable et disponible – une ressource que les changements climatiques mettent dangereusement en péril. Au cours des vingt dernières années, le stockage de l'eau terrestre – à travers l'humidité du sol, la neige et la glace – a reculé d'un centimètre par an, ce qui a des conséquences majeures pour la sécurité de l'approvisionnement en eau (OMM). Les réserves d'eau stockées dans les glaciers et la couverture neigeuse devraient continuer à diminuer au cours du siècle, ce qui entraînera une réduction de la disponibilité de l'eau pendant les périodes chaudes et sèches dans les régions alimentées par les eaux de fonte des principales chaînes de montagnes, où vit actuellement plus d'un sixième de la population mondiale (GIEC - en anglais). L'élévation du niveau de la mer devrait étendre la salinisation des eaux souterraines, réduisant ainsi la disponibilité de l'eau douce pour les besoins humains et les écosystèmes des zones côtières (GIEC - PDF en anglais). En limitant le réchauffement de la planète à 1,5 °C, plutôt qu'à 2 °C, on réduirait approximativement de moitié la proportion de la population mondiale qui subira des pénuries d'eau, bien qu'il existe une variabilité considérable entre les régions (GIEC - PDF en anglais). La qualité de l'eau est également affectée par les changements climatiques, car la hausse de la température de l'eau et la fréquence accrue des inondations et des sécheresses vont exacerber de nombreuses formes de pollution de l'eau – des sédiments aux agents pathogènes et aux pesticides (GIEC - PDF en anglais). Les changements climatiques, la croissance démographique et la raréfaction de l'eau exerceront une pression sur l'approvisionnement en denrées alimentaires (GIEC - PDF en anglais). En effet, la majeure partie de l'eau douce utilisée, environ 70 % en moyenne, est orientée vers la production agricole (il faut entre 2 000 et 5 000 litres d'eau pour produire la nourriture quotidienne d'une personne) (FAO-PDF en anglais).*

Risques liés à l'eau : *Les changements climatiques ont augmenté la probabilité et la gravité des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les inondations et les sécheresses (GIEC - PDF en anglais). L'augmentation des températures mondiales accroît la quantité d'humidité que peut contenir l'atmosphère, ce qui entraîne une multiplication des tempêtes et des fortes pluies, mais aussi, paradoxalement, des périodes de sécheresse plus intenses, car l'eau s'évapore davantage des terres et les schémas météorologiques mondiaux changent (Banque mondiale). Chaque degré supplémentaire de réchauffement de la planète accroît encore les risques de sécheresse et d'inondation, ainsi que les dommages sociaux qui en découlent (GIEC - PDF en anglais). La fréquence des épisodes de fortes précipitations augmentera très probablement dans la plupart des régions au cours du XXI^e siècle, avec davantage d'inondations d'origine pluviale. Dans le même temps, la proportion de terres soumises à une sécheresse extrême à un moment donné devrait également connaître une hausse (GIEC - PDF en anglais). Les catastrophes liées à l'eau ont dominé la liste des catastrophes au cours des 50 dernières années et représentent 70 % de tous les décès liés aux catastrophes naturelles (Banque mondiale). Depuis 2000, les catastrophes liées aux inondations ont augmenté de 134 % par rapport aux deux décennies précédentes. L'Asie a enregistré la plupart des décès et des pertes économiques liés aux inondations (OMM). Le nombre et la durée des sécheresses ont également augmenté de 29 % au cours de cette même période. La plupart des décès liés à la sécheresse se sont produits en Afrique (OMM).*

Water solutions : *Des écosystèmes aquatiques sains et une meilleure gestion de l'eau peuvent réduire les émissions de gaz à effet de serre et offrir une protection contre les risques climatiques (Water and Climate Coalition - en anglais). Les zones humides telles que les mangroves, les herbiers marins, les marais et les marécages sont des puits de carbone très efficaces qui absorbent et stockent le CO₂, contribuant ainsi à réduire les émissions de gaz à effet de serre (PNUE - PDF en anglais). Les zones humides servent également de protection contre les phénomènes météorologiques extrêmes (PNUE - PDF en anglais). Ils constituent un bouclier naturel contre les ondes de tempête et absorbent l'excès d'eau et de précipitations. Grâce aux plantes et aux micro-organismes dont elles regorgent, les zones humides permettent également de stocker et de purifier l'eau. Les systèmes d'alerte précoce en cas d'inondations, de sécheresses et d'autres risques liés à l'eau offrent un retour sur investissement plus que décuplé et peuvent réduire considérablement les risques de catastrophe ; un avertissement lancé 24 heures avant l'arrivée d'une tempête peut contribuer à réduire de 30 % les dommages qui s'ensuivent (OMM). Des systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement capables de résister au changement climatique pourraient sauver la vie de plus de 360 000 nourrissons chaque année (Rapport New Climate Economy - en anglais). L'agriculture intelligente face aux changements climatiques, qui a recours à l'irrigation au goutte-à-goutte et à d'autres moyens d'utiliser l'eau plus efficacement, peut contribuer à réduire la demande en eau douce (PNUE).*

Noureddine 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

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

©2022 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V (viii), Issue 1 – March 2023 - iistec.org/volume-viii-2023/



International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

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

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

08 Volumes, 24 Numéros, (356 Articles) et 1 livre



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

Volume (viii): 4 Numéros (Articles) Eau-Sécheresse-Climat 2023

Numéro 1 – Mars 2023 (6 Articles) Pénurie d'eau, hausse des températures... Face au changement climatique, de la lutte à l'adaptation ?

Volume (vii) : 4 Numéros (32. Articles) Eau-Santé-Climat 2022

Numéro 1 – Mars 2022 (7 Articles) Changement Climatique : Quels effets sur notre santé ?

Numéro 2 – Juin 2022 (10 Articles) Impacts du Changement Climatique sur l'Eau, les Ecosystèmes et la Santé Humaine

Numéro 3 – Septembre 2022 (7 Articles) Eau, Climat, Santé, Inégalités : Quelles Solutions

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

Volume (vi) : 4 Numéros (31 Articles) Eau-Agriculture-Climat 2021

Numéro 1 – Avril 2021 (11 Articles) Face aux enjeux climatiques et alimentaires : Réinventer les relations Eau-Agriculture-Climat

Numéro 2 – Juin 2021 (6 Articles) Changement climatique, eau, agriculture - Quelles trajectoires ?

Numéro 3 – September 2021 (6 Articles) Changement Climatique, Eau et Agriculture Vers des Systèmes Résilients

Numéro 4 – Décembre 2021 (8 Articles) Changement Climatique, Eau et Agriculture : Quelles Stratégies ?

Volume (v) : 2 Numéros (27 Articles) Eau-Climat 2020

Numéro 1 – Septembre 2020 (14 Articles) Ressources en Eaux et Changements Climatiques

Numéro 2 – Décembre 2020 (13 Articles) Gestion Intégrée des Ressources en Eau et Changement Climatique

Volume (v) : 2 Numéros (68 Articles) Eau-Energie-Climat 2019

Numéro 1 – Décembre 2019 (56 Articles) Gestion Intégrée des Ressources en Eaux

Numéro 2 – Décembre 2019 (12 Articles) Énergies Renouvelables Et changements climatiques

Volume (iii) : 3 Numéros (103 Articles) Eau-Environnement-Climat 2018

Numéro 1 – Avril 2018 (62 Articles) Gestion des Ressources en Eau

Numéro 2 – Août 2018 (34 Articles) Sciences de l'Environnement

Volume (ii) : 5 Numéros (53 Articles) Eau-Société-Climat 2017

Numéro 1 – Février 2017 (17 Articles) Caractérisation qualitative et quantitative des ressources en eau

Numéro 2 – Avril 2017 (8 Articles) Évaluation des ressources en eau sous les pressions de l'humanité et des changements climatiques

Numéro 3 – Juin 2017 (9 Articles) Vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques

Numéro 4 – Août 2017 (8 Articles) Modélisation de l'impact des changements anthropiques et climatiques sur les ressources en eau

Numéro 5 – Octobre 2017 (11 Articles) Modélisation Numérique en Hydraulique, Hydrologie et Hydrogéologie

Volume (i) : 3 Numéros (36 Articles) Eau-Climat 2014

Numéro 1 – Avril 2014 (17 Articles) Ressources en Eaux de Surface en Région Méditerranéenne

Numéro 2 – Août 2014 (8 Articles) Ressources en Eaux Souterraines en Région Méditerranéenne

Numéro 3 – Décembre 2014 (11 Articles) Changements Climatiques en Région Méditerranéenne

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés

La qualité physico-chimique de l'eau de consommation dans la zone d'Illet au Kenya

Thomas Kayobola Kangombe¹

Département de l'Environnement et Développement Durable, Institut Supérieur de Développement Rural de Kindu

Résumé

Au Kenya, Kenya Bureau of Standards (KEBS) est l'organe public qui fixe les normes. La qualité de l'eau potable est fixée par la norme KS EAS 12 : 2014, inspirée de la norme de la Communauté de pays de l'Afrique de l'Est. En milieu rural, notamment à Illet, la qualité de l'eau potable pose un problème majeur, aucune norme n'est donc observée en matière de potabilisation de l'eau. Neuf (9) sources ont été concerné par notre étude, correspondant à neuf villages choisis dans la zone. Les habitants d'Illet ont recours pour certains aux eaux du lac Turkana, des sources intermittentes non protégées et creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés, pour d'autres des forages et puits et moins de gens utilisent la petite quantité d'eau dessalée mise à la disposition par l'institut de recherche Turkana Basin Institute installé dans la zone. La qualité de l'eau potable a été mesurée en faisant une comparaison des valeurs des paramètres évalués sur terrain à partir des échantillons analysés au laboratoire et les standards fixés par la norme nationale en la matière. L'eau consommée dans la zone d'Illet est très turbide avec des valeurs qui atteignent des valeurs supérieures à 2000NTU. Elle présente un goût très salé confirmé par une concentration qui varie entre 440 ppm à parfois plus de 9 000 ppm pour les forages et les eaux du lac Turkana pendant que la norme fixe le sodium à 200mg/l. Une forte concentration de fluorures a été observée, jusqu'à 8,58mg/l alors que la norme nationale kenyane exige 1,5mg/l. Cette concentration en fluorures seraient à la base de la couleur brunâtre que présentent les dents de la majorité de la population. D'autres paramètres dont les chlorures, les nitrates, les nitrites, le plomb, les sulfates sont parfois aussi présents dans l'eau à des proportions supérieures à la norme. En dehors des autres sources concernées par l'étude, le forage de Gouoro avait une concentration d'Arsenic de 0,076mg/l qui est supérieure à la norme fixée à 0,01mg/l. Cette étude nous a donc permis d'effectuer des analyses physiques et chimiques de l'eau de consommation dans la zone d'Illet, en déterminer la concentration des paramètres retenus pour l'analyse et les effets qu'ils peuvent avoir sur la santé de consommateurs

Mots clés : Analyse de l'eau, qualité de l'eau, paramètres physico-chimiques, l'eau potable, Illet

Physical and chemical quality of water in Illet ward in Kenya

Abstract:

In Kenya, the Kenya Bureau of Standards (KEBS) is the government body that defines standards. Drinking water quality is regulated by KS EAS 12: 2014, which is based on the East African Community standard. In rural areas, especially in Illet, drinking water quality is a major problem, so no standards are observed for drinking water. Nine (9) springs were concerned by our study, corresponding to nine selected villages in the area. The inhabitants of Illet use for some of them water from Lake Turkana, unprotected intermittent springs dug by hand on the beds or banks of dry rivers, for others boreholes and wells and less people use the small quantity of desalinated water provided by the Turkana Basin Institute, a research institute installed in the area. The quality of the drinking water was measured by comparing the values of the parameters assessed in the field from samples analysed in the laboratory with the standards required by the national drinking water standard. The water consumed in the Illet ward is very turbid with values reaching over 2000NTU. It has a very salty taste confirmed by a concentration that varies from 440 ppm to sometimes more than 9,000 ppm for boreholes and Lake Turkana water, while the norm sets sodium at 200mg/l. A high concentration of fluoride was observed, up to 8.58mg/l, whereas the Kenyan national standard requires 1.5mg/l. This fluoride concentration is believed to be the reason for the brownish colour of the teeth of the majority of the population. Other parameters such as chlorides, nitrates, nitrites, lead and sulphates are also sometimes present in the water in proportions higher than the standard. Apart from the other sources concerned by the study, the Gouoro borehole had an arsenic concentration of 0.076mg/l, which is higher than the standard fixed at 0.01mg/l. This study therefore enabled us to carry out physical and chemical analyses of the drinking water in the Illet area, to determine the concentration of the parameters selected for analysis and the effects they may have on the health of consumers

Key Words: Water analysis, water quality, physiochemical parameters, drinking water, Illet

¹ Corresponding author: kakathomas2000@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'eau est une ressource très précieuse, l'homme l'utilise pour plusieurs besoins de sa vie : d'abord comme boisson, pour l'hygiène, pour la cuisson des aliments, etc. d'où dit-on « l'eau c'est la vie » [1]. Mais elle devient à ce jour vecteur et récepteur avec l'intensification des activités humaines, elle est devenue le récepteur et le vecteur d'un bon nombre de substances polluantes d'origines diverses [1]. L'accès à l'eau de qualité et en quantité suffisante est une condition indispensable pour une bonne santé et pour le développement aux niveaux national, régional et local [1]. Les Nations Unies l'ont déclaré comme un droit de l'homme essentiel. Vu cette importance, les Nations Unies, en adoptant les Objectifs de Développement, d'abord les OMD et puis les ODD. En 2015, les États signataires de l'Agenda 2030 ont consacré un objectif, l'ODD 6, qui consiste à garantir l'accès de tous à l'eau et l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau en incluant une cible et des indicateurs pour la sécurité sanitaire de l'eau de boisson [2] et fait appel à la réduction du nombre de personnes souffrant de la rareté de l'eau. Signataire de l'Agenda 2030, le Kenya a aussi fait sien cet objectif en l'adaptant selon le contexte local. La loi sur l'eau a été votée en 2016 et a fourni un environnement favorable à l'accès universel à l'eau en séparant les rôles politique, de réglementation et de mise en œuvre. Les unités administratives locales ont été dotées d'une politique opérationnelle et des procédures pour la participation des communautés locales à la gestion de l'eau et de l'assainissement. En ce temps-là, le pays promettait d'atteindre un taux de 80% de la population nationale ayant accès à une eau saine tout en ciblant en même temps 2,8 millions des personnes vivant dans les milieux ruraux défavorisés en 2022 [3]. Mais selon le rapport sur le développement durable 2022, seuls 61,6% de la population ont un accès à l'eau saine. D'énormes défis restent à relever pour une tendance restée stationnaire [4]. Le gouvernement du comté de Marsabit à son niveau s'est aligné aux Objectifs de Développement Durable s'engageant de réaliser quelques actions en faveur de l'eau notamment la réduction des distances à parcourir par les familles rurales à la recherche de l'eau par la construction des infrastructures rurales d'approvisionnement en eau [5, 6]. Mais les sources d'eau dans la zone d'Illetet contraste avec l'engagement des autorités du pays et celles du comté de Marsabit. La population a recours à des sources d'eau non aménagées, principalement celles creusées à la main sur les lits des cours d'eau asséchés, le lac Turkana ou forages abandonnés à la suite du goût salé de ses eaux.

C'est pour cette raison que notre étude s'est penchée sur la qualité physico-chimique de cette eau afin que nous nous rendions compte du risque sanitaire probable que court la population en consommant l'eau issue de ces sources à court, moyen et long terme. Le goût salé de l'eau dans la zone et la fluorose dentaire caractérisée par la coloration brunâtre des dents chez les adultes et chez les enfants laissent penser à un excès de certaines substances chimiques dans l'eau.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'études

Illetet (également orthographié Illeret) est l'une des zones du comté de Marsabit, au Kenya. Il est situé dans le nord du Kenya, sur la rive orientale du lac Turkana, au nord du parc national de Sibiloï et près de la frontière éthiopienne.

Actuellement, les habitants d'Illetet en particulier et de tout le comté de Marsabit en général, subissent une sécheresse permanente après trois saisons consécutives sans pluie. Le comté de Marsabit fait partie des sept comtés que l'Autorité nationale de gestion de la sécheresse (NDMA) a désignés comme connaissant une aggravation de la situation d'insécurité alimentaire (classification intégrée par phases L3 avec une gravité et une échelle croissante). Le rapport d'avril 2022 de l'Autorité nationale de gestion de la sécheresse classe toujours Marsabit dans la phase d'alarme de la sécheresse avec tous les indicateurs en termes de tendance à l'aggravation (par exemple, la tendance des enfants à risque de malnutrition à Marsabit s'aggrave, la mortalité du bétail 15% mouton/chèvre, chameau, l'accès à l'eau pour les ménages et le bétail devient une lutte quotidienne en raison de la longue distance et de la qualité). Les cas de malnutrition augmentent en raison de la sous-alimentation, l'accès à l'assainissement et à l'eau potable est limité.

Les différents villages que compte la zone longent principalement la rive Est du lac Turkana considéré comme espace de vie. Tous ces villages sont situés entre 04.45348° et 04.21822° de latitude Nord et entre 36.24425° et 36.32617° de longitude Est. Cette région du Kenya est habitée par les Daasanach, un peuple éleveur et nomade.

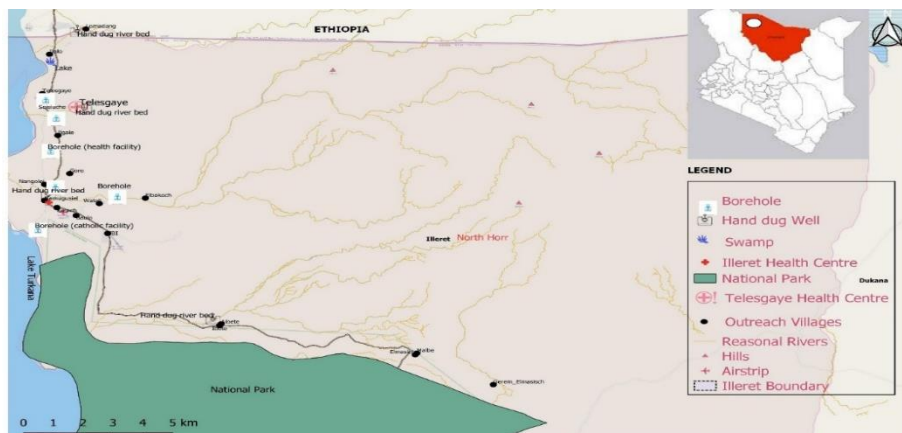


Figure 1 - Carte de la zone d'Illeret

La zone connaît un climat chaud et aride. Selon les données recueillies à la station météorologique de Lodwar de l'autre rive du lac Turkana mais dans le comté de Turkana, les températures mensuelles moyennes varient entre 28,4°C et 30,1°C, avec des minima entre 21,9°C et 24,8°C, et des maximums entre 33,2°C et 36,2°C (lodwar.climatemps.com).

La zone est essentiellement pastorale et ses habitants sont souvent nomades et s'installent sur la côte du lac Turkana afin de bénéficier du pâturage et de l'eau pour leurs troupeaux. Ils sont estimés à plus ou moins 14,881 personnes réparties dans plus ou moins 3,675 ménages. L'eau est rare, la population vit dans une insécurité et un stress hydriques permanents faisant que les familles ont recours à la pratique de prêt de l'eau à rembourser [7]. L'approvisionnement en eau est difficile, les eaux de surface (lac Turkana) et les eaux souterraines (forages) sont salées. Les pluies sont très rares. Les gens ont recours aux sources intermittentes non protégées et creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés, localement appelées laga. Le village de Watali détient deux puits modernes équipés des pompes solaires et deux châteaux d'eau. Turkana Basin Institute qui fait des recherches dans la zone dispose d'une unité de dessalement par osmose inverse et approvisionne les villages de Baulo, Kerech, Namuguse et Watali en eau potable même si la quantité ne satisfait pas toute la demande de la population. Les autres villages, Aibete, Nango'lei, Ilgele, Sieslucho, Lomadang, Ilolo, Telesgaye, Guoro et Elbokoch utilisent essentiellement les eaux du lac Turkana pour certains en plus des sources intermittentes non protégées et creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés. Les forages et puits qui existent ne sont pas exploités à cause de leur salinité. Pendant la saison de pluies, les puits creusés sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés sont inondés des sables, tombent en panne et deviennent inexploitable.

Prise d'échantillons et analyses

Les échantillons d'eau à analyser ont été prises entre le 12 et le 31 Août 2022. Sur chacune de neuf sources sites identifiés dans les villages, nous avons prélevé deux volumes d'eau dans deux vases distincts : un volume dans un béccher bien rincé de 1 litre transparent servant pour les tests in-situ et un autre d'un échantillon de 500 ml dans des bouteilles en plastique d'eau minérale pour les autres examens au laboratoire. Ces bouteilles ont été nettoyées, rincées avec de l'eau à prélever et puis remplies et transmises au laboratoire d'analyse des paramètres chimiques dans des glacières. Pour chaque prélèvement, douze (12) paramètres physico-chimiques ont été mesurés. Certains ont été réalisés in-situ.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de l'étude sont présentés ci-dessous selon différents paramètres physiques ou chimiques visés.

Tableau I - Quelques paramètres physico-chimiques de l'eau dans la zone d'Illeret

Village	Température (°C)	Turbidité (NTU)	pH	Conductivité (µS)	Sodium (ppm)
Watali (puits avec pompes solaire)	32,7	5	7,6	890	160
Sieslucho (sources intermittentes non protégées et creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés)	30,4	200	7,6	3999	280
Sieslucho (Pompe manuelle)	34	30	7,8	3999	9000
Nango'lei (Pompe manuelle)	32,8	50	7,6	3999	9000
Ilole (l'eau du lac Turkana)	30,5	2000	7,8	3385	800
Illeret, (Robinet paroisse catholique)	34	5	7,6	3994	900
Centre de santé d'Illeret (Robinet devant maternité)	28,2	5	7,6	1985	440
Illeret ((sources intermittentes non protégées creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés)	31,1	300	7,5	950	170
Guoro (Borne fontaine du forage)	33,1	5	7,5	2410	460

Selon les mesures que nous avons effectuées, la température de l'eau à Illeret varie entre 25°C et 34°C. Elle varie selon qu'il s'agisse d'une source à une autre, l'eau souterraine est particulièrement chaude. Le type de réservoir de stockage compte encore plus sur cette variation, les réservoirs en bétons produisent de l'eau moins chaude que ceux en plastique. Cependant, il est important de noter que la variation de la température de l'eau n'a aucune signification en termes de contamination [15]. Une température élevée de l'eau stimule la croissance des micro-organismes et peut accroître les problèmes liés au goût, à l'odeur, à la coloration et à la corrosion [1].

Le pH de l'eau analysée affiche des valeurs supérieures à 7 mais inférieures à 8. Ces valeurs sont comprises dans la marge entre 5.5 et 9.5 édictée par la norme nationale KS EAS 12 : 2014 pour l'eau potable [16]. Le pH sert à mesurer l'acidité ou la basicité de l'eau. Il est aussi une mesure de la salinité qui affecte grandement le goût de l'eau et il indique la présence d'ions dissous.

Une conductivité électrique élevée est causée par des sels ionisables plus élevés dans l'eau et cela affecte la germination des graines dans les cultures, ce qui entraîne de faibles rendements [17]. La conductivité de l'eau des différentes sources affiche des majoritairement des valeurs supérieures (2,500µS) aux exigences définies par la norme KS EAS 12 : 2014 basée sur la norme de la Communauté de l'Afrique de l'Est sur l'eau potable applicable dans le pays pour l'eau potable naturelle [16].

Les sources intermittentes non protégées et creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés, échantillonnées avaient une concentration en sodium comprise entre 170 ppm et 280 ppm. Elle était légèrement inférieure à la salinité des forages équipés d'une pompe solaire, qui variait de 440 ppm à 900 ppm, et à celle des forages équipés d'une pompe manuelle, qui était inconfortablement supérieure à 9 000 ppm. L'eau prélevée dans le lac Turkana de la côte d'Ilole avait une salinité de 800ppm. Ces valeurs sont supérieures à celles (200mg/l) fixées par les normes KS 05 – 459 KS EAS 12 : 2014 applicable dans le pays pour l'eau potable naturelle [16, 18] et Asher Y. Rosinger et al. (2021) confirment que la salinité des sols et des eaux souterraines dans cette région est due à l'altération minérale à long terme due à l'aridité extrême et à l'évaporation [18, 19].

La rivière Omo et les autres rivières éphémères et intermittentes drainent les sédiments issus des roches volcaniques de nature basalte des collines vers le Lac Turkana [20]. Parce qu'aussi malgré que la rivière Omo apporte plus de 80% du débit entrant du lac Turkana, celui-ci est hydro-géologiquement fermé car ne dispose pas d'exutoire, ce qui augmente la salinité des eaux du lac et des souterraines dans la zone. Asher Y. Rosinger et al (2021) [19] démontrent que la salinité dépend du niveau du lac et de la saison, la conductivité étant la plus faible pendant la saison des pluies, lorsque le débit entrant de la rivière Omo est le plus élevé ; la conductivité augmente plus au sud, loin du delta de l'Omo, et est la plus élevée pendant la saison sèche. Les roches volcaniques du bassin versant de la rivière Omo produisent des eaux de ruissellement riches en sodium [19].

Environ 95% des ions dans la plupart des eaux souterraines sont représentés par les principaux cations et anions ; ces cations comprennent des ions comme le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium et les anions comme le fluorure, le chlorure, le sulfate, le bicarbonate et le nitrate. Lorsque ces espèces ioniques interagissent dans l'eau, elles ont tendance à contribuer à la salinité et donc à la forte minéralisation de l'eau, ce qui entraîne finalement une augmentation des solides dissous totaux [21]. Bien qu'il n'existe pas de directives concernant les niveaux de salinité maximum de l'eau pour la santé, le goût et l'acceptabilité de l'eau sont généralement signalés comme insatisfaisants à des niveaux supérieurs à 200 mg/L [22, 23].

Tableau II - Quelques paramètres chimiques de l'eau dans la zone d'Illetet

Localisation/source d'eau	As (mg/l)	Cl (mg/l)	Fl (mg/l)	NO3 (mg/l)	NO2 (mg/l)	Pl (mg/l)	SO4 (mg/l)
Watali (puits avec pompes solaire)	0,007	28,1	0,95	26,7	0,024	0,03	36
Sieslucho (sources intermittentes non protégées creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés)	0,007	28,6	0,75	39,9	1,479	0,009	30
Sieslucho (Pompe manuelle)	0,007	19970	0,99	71,5	0,048	0,009	19606
Nango'lei (Pompe manuelle)	0,007	24570	3,1	117,8	0,336	0,009	18956
Ilolo (l'eau du lac Turkana)	0,007	435	8,58	1,3	0,095	0,009	33
Illetet, (Robinet paroisse catholique)	0,007	1158	0,99	5,2	2,951	0,041	2
Centre de santé d'Illetet (Robinet devant la maternité)	0,007	169,4	2	2,5	0,012	0,009	2
Illetet (sources intermittentes non protégées et creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés)	0,007	21,6	0,41	1,3	1,028	0,041	33
Guoro (Borne fontaine du forage)	0,076	50	3,15	7,7	0,018	0,009	49

La population d'Illetet a recours à l'eau issue du lac Turkana, des puits, des forages et des sources intermittentes non protégées et creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés. La recherche de certains paramètres au laboratoire a donné des résultats intéressants sur la qualité de l'eau.

Il a été observé la présence de l'arsenic dans les eaux des sources échantillonnées (0,007mg/l) mais à des proportions inférieures à 0,01mg/l fixées par la norme KS EAS 12 : 2014. C'est uniquement l'eau du forage de Guoro qui présente une valeur d'arsenic élevée allant jusqu'à 0,76mg/l. L'arsenic est présent dans la nature et dans les eaux souterraines qui drainent les roches plutoniques [24]. L'OMS estime que l'arsenic n'a pas de rôle essentiel démontré chez l'homme mais son excès naturel, comme pour les fluorures, les nitrates et les nitrites, constitue aussi un grand risque chimique pour la santé publique. Il a été établi un lien causal entre l'ingestion d'arsenic à des niveaux élevés à travers la consommation de l'eau de boisson et le développement de cancer de la peau, des poumons, de la vessie et des reins, du foie, de la prostate ainsi que d'autres affections de la peau, telles que l'hyperkératose et des changements de pigmentation [1,15]. L'arsenic est aussi connu pour son rôle dans les maladies vasculaires, des effets neurologiques et des anomalies de développement chez le nourrisson [1]. Le forage de Guoro ayant une concentration supérieure à 0,6mg/l, les enfants de ce village courent le risque des effets vasculaires [1].

Les valeurs des chlorures des eaux échantillonnées répondent aux normes en vigueur fixées par l'OMS [23] excepté les eaux du lac Turkana et celle issues des forages dont les valeurs atteignent plus de 24000 mg/l. De fortes concentrations de chlorures peuvent restreindre l'utilisation de l'eau en raison de la saveur qu'ils donnent et l'effet laxatif qu'ils peuvent causer [25]. Les méthodes conventionnelles de traitement des eaux n'éliminent pas les chlorures. Leur élimination peut se faire par désalinisation (osmose inverse) ou par électrodialyse, (échange d'ions) [25].

Dans différentes sources d'eau de la zone d'Illetet, la concentration de fluorures dans l'eau de boisson s'étend sur une plage de concentration de 0,41mg/l à 8, 58mg/l alors que la norme KS EAS 12 : 2014 la fixe à 1,5mg/l. Les échantillons de l'eau du lac Turkana présentent une valeur supérieure (8,58mg/l). Elle varie entre 1,60mg/l et 3,15mg/l pour les eaux des forages) et moins de 1,5mg/l dans les eaux des sources intermittentes non protégées et creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés. Selon l'OMS, les eaux des puits peuvent avoir des concentrations en fluorures de plus ou moins 10 mg/l [1]. Les fluorures sont naturellement présents dans les eaux de surface, ils proviennent parfois aussi des rejets dans l'atmosphère dues à l'activité humaine. [26]. Les conditions locales et climatiques nécessitent l'adaptation d'une concentration de fluorure supérieure à 1,5mg/l mais selon le Conseil de régulation des services de l'eau - Directive sur la qualité de l'eau potable et la surveillance des effluents, dans des cas exceptionnels, une teneur en Fluorure de 3mg/l peut être acceptable au Kenya pour l'eau en bouteille [27]. Chez l'homme, les fluorures ont un effet bénéfique dans la prévention des caries dentaires mais leur ingestion à long terme peut occasionner les effets nocifs sur les tissus squelettiques dont la fluorose squelettique pour les os et la fluorose dentaire [1].

Les nitrates sont présents en traces dans l'eau de surface et leur concentration peut être élevée. Bien que la norme KS EAS 12 : 2014 fixe la concentration des nitrates à 45mg/l et celle de nitrites à 0,9mg/L, les forages de Sieslucho et Nango'lei ont respectivement 71,5mg/l et 117,8mg/l de nitrate alors que les autres points d'eau mesurés sont en dessous de la norme.

Mais les sources intermittentes non protégées et creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés de Sieslucho et d'Illetet et le robinet à la paroisse catholique ont une forte concentration en nitrites alors que les autres sources d'eau mesurées sont en dessous de la norme. Les nitrates constituent avec l'arsenic et le fluorure, trois produits chimiques qui peuvent potentiellement provoquer de graves problèmes de santé. Le nitrite provient de l'activité microbienne et peut n'apparaître qu'à intervalles. Une forte concentration des nitrates et des nitrites dans l'eau est à la base de la méthémoglobinémie ou syndrome du bébé bleu, qui se produit chez les nourrissons habituellement nourris au biberon [8, 17]. Il peut aussi occasionner le cancer ou affecter la reproduction chez certains adultes [9, 28, 29].

Le plomb est un constituant naturel très mineur des eaux de surface et des eaux souterraines. Ses rejets dans l'environnement se font à travers l'altération des cristaux, des activités volcaniques ou à partir de sources anthropogènes liées à l'activité industrielle, à la production d'électricité (au charbon et au pétrole), au trafic, à la pêche, aux eaux usées municipales et à la navigation [30]. La

norme KS EAS 12 : 2014 limite de sa concentration dans l'eau de boisson à 0,01mg/l. La forte concentration a été observée dans les sources autour de Illeret centre avec 0,03mg/l pour le puits de Watali, 0,041mg/l pour l'eau du robinet à la paroisse catholique et les sources intermittentes non protégées et creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés. La concentration du plomb dans les eaux des autres sources a été de 0,009mg/l, valeur inférieure à la norme. L'exposition au plomb peut être source à plusieurs problèmes de santé. Les enfants et les femmes enceintes sont plus vulnérables. Elle peut occasionner des retards de développement physique ou mental, déficits de l'attention et des capacités d'apprentissage [15], des encéphalopathies graves chez les enfants et des nourrissons [31], des troubles rénaux et l'hypertension chez les adultes ainsi que des troubles de la fertilité et des issues défavorables de la grossesse chez les femmes [1].

Les sulfates dans les eaux souterraines sont d'origine naturelle [1]. La norme KS EAS 12 : 2014 limite sa concentration à 400mg/l dans l'eau de boisson. Pour les forages de Nango'lei et de Sieslucho, les concentrations sont très élevées variant entre 18 956mg/l et 19 606mg/l. Les autres localités présentent des valeurs inférieures à la norme. Bien que les concentrations élevées des sulfates dans l'eau de boisson de soient préoccupant pour la santé [1], ils peuvent être à la base des effets laxatifs pouvant apparaître chez certains à plus de 500 mg/l [32].

CONCLUSION

L'étude que nous avons menée se proposait d'évaluer la qualité de l'eau de boisson de la zone d'Illeret au Kenya et son impact sur la santé de la population.

Neuf (9) sources d'eau fréquemment utilisées par la population des villages de la zone concernée ont été concernées à travers l'analyse de douze (12) paramètres que nous avons mesurés.

Il ressort de cette analyse que l'eau consommée par la population d'Illeret n'est pas de bonne qualité du point de vue physique et chimique. Si pour les eaux de forages l'eau a un goût très salé très élevées, l'eau des sources intermittentes non protégées et creusées à la main sur les lits ou sur les bords des cours d'eau asséchés, est trop turbide, avec des valeurs jusqu'à plus de 2000NTU/ Elle est extraite et manipulée dans les conditions hygiéniques précaires.

Les analyses ont aussi montré que la qualité chimique de l'eau constitue un problème majeur pour cette population. Le plomb, l'arsenic, les nitrates, les nitrites et les fluorures sont présents dans une ou dans l'autres sources parfois à des valeurs supérieures aux directives de l'OMS et aux normes nationales applicables pour l'eau potable. La population est ainsi exposée à des risques des maladies dues à la présence dans l'eau potable de ces éléments chimiques à des valeurs supérieures à la norme comme par exemples la fluorose dentaire qui affecte la plupart de habitants des villages concernés.

Cette étude a permis ainsi de confirmer la vulnérabilité dans la quelle vit la population d'Illeret non seulement suite à l'insécurité alimentaire due au climat aride caractérisé par l'absence des pluies occasionnant une sécheresse prolongée, une insécurité et un stress hydriques permanents mais aussi et surtout le risque sanitaire que court la population suite à la présence en excès des certaines substances chimiques comme les fluorures, de nitrates/nitrites et d'arsenic dans l'eau qu'elle consomme.

REFERENCES

1. WHO, 2017, Guidelines for Drinking-water Quality 4th Edition incorporating first addendum. Geneva : WHO, World Health Organization
2. Programme Solidarité – Eau, Les Objectifs de Développement Durable pour les services d'eau et d'assainissement, Décryptage des cibles et indicateurs, Édition revisitée, mars 2018
3. The National Treasury and Planning State Department for Planning SDGs, Status Report – Implementation of the Agenda 2030 for Sustainable Development in Kenya, 2019
4. Jeffrey D. Sachs, et al., Sustainable Development Report 2022, From Crisis to Sustainable Development : the SDGs as Roadmap to 2030 and Beyond, Cambridge press, (2022).
5. Marsabit County Republic of Kenya, SDGs voluntary county reporting
6. County Government of Marsabit Republic, 2019, County Annual Development Plan, CADP 2020/21).
7. Leslie Ford et al., 2022, Water Insecurity, Water Borrowing, and Psychosocial Stress Among Daasanach Pastoralists in Northern Kenya
8. Médecins Sans frontières, Technicien Sanitaire en situation d'urgence, 2010
9. HANNA INSTRUMENTS, Manuel d'utilisation HI98311 - HI98312 EC/TDS/°C-mètres étanches, 2020
10. HORIBA Group, Instruments compacts pour mesures électrochimiques LAQUAtwin
11. Jean Rodier et al., 2009, L'Analyse de l'eau Contrôle et Interprétation 10^{ème} édition, Dunod, Paris.
12. HACH, 2014, Colorimètre DR 900 Méthodes d'analyse.
13. HACH, 2013, Water Analysis Guide, Edition 1
14. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 1999, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition
15. CAWST (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology, 2013, Introduction à l'Analyse de Qualité de l'Eau de Boisson.
16. Kenya Bureau of Standards (KEBS), 2015, Kenya Standards, Potable water — Specification KS EAS 12 : 2014
17. Jain, S., & Agarwal, M., 2012, Study on physico-chemical characteristics of ground water of various villages around Raiser, India. Journal of Chemical, Biological and Physical sciences, 2(3), 1551-1555.
18. Mugai E.N., 2004, Salinity characterization of the Kenyan saline soils, Soil Science and Plant Nutrition
19. Asher Y. Rosinger et al., 2021, Drinking water salinity is associated with hypertension and hyperdilute urine among Daasanach pastoralists in Northern Kenya, Sci. Total Environ.

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

©2022 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V(viii), Issue 1 –March 2023 - jisteec.org/volume-viii-2023/

20. Geowater & Environmental Consultants Ltd, 2018, Hydrogeological and Geophysical Investigations Illeret Ward, Marsabit County.
21. Sundaram. B., et al., 2009, Ground water sampling and analysis, Geoscience, Australia. Vol 27.
22. Benneyworth L, et al., 2016. Drinking water insecurity: water quality and access in coastal south-western Bangladesh. International Journal of Environmental Health Research 26
23. WHO, 2008, Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd ed. Vol.1. Incorporating the first and Second Addenda. Geneva : WHO, World Health Organization.
24. J. Ndunda, 2007, Caractéristiques biologiques et physico-chimiques de l'eau de consommation et influence du mode d'approvisionnement sur la santé des populations à Dschang.
25. Fondation Nationale de la Santé, 2013, Manuel pratique de l'analyse de l'eau 4^{ème} édition, Brasilia.
26. INERIS, 2022, Fluorures inorganiques.
27. Water Services Regulatory Board (WARSEB), 2008, Guidelines on Water Quality and Effluent Monitoring.
28. Ayesha Durrani. (2012). Physico-chemical parameters of ground water. African Journal of Basic & applied Sciences. 4(2) : 28-29.
29. WHO. (2011). Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th Edition. Geneva : World Health Organization
30. OSPAR Commission, 2009, Background document on lead.
31. F. Dovonou et al., 2015, Pollution des eaux souterraines par les métaux lourds et leur impact sur l'environnement : cas de l'aquifère superficiel du champ de captage intensif de Godemey au Sud-Benin
32. Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2011, Water Quality 101 : Potable Water Micro-System Fundamentals, Canada.

Optimisation Des Modes De Gestions Des Services D'eaux Dans Un Contexte De Decentralisation De La Desserte Dans Les Communes Rurales Sub-Sahelienne D'Afrique Cas De Betare-Oya Est-Cameroun

Okounou Banyomo Raymond¹ Bah Ntutuwoou Gael Didier^{1,2}, Njogi Bella Anne Rosine Eve², Akoke Abem David Xavier³

(1) Université de Dschang, Département du Génie Rural, Laboratoire de Gestion de l'Eau, Bp222, Dschang-Cameroun

(2) Institut National de Cartographie, Département de gestion des Données, Division de la Production Cartographique, BP 157 Yaoundé, Cameroun

(3) Institut National de Cartographie Département de Géographie Division de la Recherche, BP 157 Yaoundé, Cameroun

Résumé

Cette étude consiste à contribuer l'amélioration de l'accès en eau potable dans les communes rurales et nous avons pris pour cas d'étude celle de Bétaré-Oya. Plus précisément, de développer une approche visant à outiller et à faciliter le transfert de compétence des services centraux vers les collectivités territoriales décentralisé en matière de gestion des services d'eau et assainissement ceci dans le but de les permettre d'être autonome. Pour cela trois approches majeures ont été mise en relief: (i) faire l'état des lieux des différents ouvrages d'approvisionnement en eau potable de la commune; (ii) analyser les différents modes de gestion du service d'eau et (iii) identifier les principales contraintes liées à la gestion de l'AEP au niveau communal et d'y proposer les solutions.

Mots clés : Eau potable, Ouvrages d'approvisionnement, Besoin en eau, gestion communale, Hygiène et Assainissement.

Optimization of Water Services Management Modes in a Context of Decentralization of Service in Sub-Sahelian Rural Communes in Africa Case of Betare-Oya East Cameroon

Abstract:

This study consists in contributing to the improvement of access to drinking water in rural municipalities and we have taken as a case study that of Bétaré-Oya. More specifically, to develop an approach aimed at equipping and facilitating the transfer of skills from central services to decentralized local authorities in the management of water and sanitation services, with the aim of enabling them to be autonomous. For this, three major approaches have been highlighted: (i) take stock of the various drinking water supply structures in the municipality; (ii) analyze the different modes of water service management and (iii) identify the main constraints related to DWSS management at the municipal level and propose solutions.

Key Words: Drinking water, Supply works, Water needs, municipal management, Hygiene and Sanitation.

¹ Corresponding author: bahngd@gmail.com

INTRODUCTION

Depuis les années 1990, de nombreux pays d'Afrique se sont engagés dans des processus de décentralisation. En matière d'eau potable et d'assainissement, ces processus ont conduit au transfert progressif des compétences de maîtrise d'ouvrage aux collectivités territoriales locales (Guillaume *et al.*, 2014). Toutefois, les communes sont peu formées sur les questions du service public d'eau qui jusqu'à date reste conceptuelle voir même embryonnaire (Kokou et Teisseri, 2010). Les défis de management n'étant pas les mêmes dans tous les régions. Ce qui rends difficile une universalité des modes de gestions des services d'eau (Ayang, 2014). Ceci est d'autant plus vrai que cette dégradation de la qualité de l'eau au fil des années due aux mauvais assainissements rend l'accès à l'eau potable très difficile. C'est ainsi qu'il a été convenu par les Etats à New-York en 2000 lors du sommet du millénaire, de réduire de moitié le taux de la population n'ayant pas accès à l'eau potable et à un système d'assainissement adéquat d'ici 2015. Ce qui a connu un échec dans plusieurs pays en voie de développement en occurrence ceux de l'Afrique sub-sahélienne et ceci en partie faute de connaissance et de maîtrise de technologie de gestion de l'eau (Bron, 2015). C'est pour cette raison que des initiatives sont développées à l'endroit des communes, afin de les aider à assumer pleinement leur rôle d'acteur principal du développement local dans le secteur de l'eau et de l'assainissement (Kokou et Teisseri, 2010, Charpentier, 2014).

D'après Nkengfack *et al.* (2017), la dernière évaluation des ouvrages d'approvisionnement en eau potable en milieu rural au Cameroun révèle l'existence d'environ 15 000 ouvrages de tous types avec un taux de panne estimé à plus de 35%. Ces ouvrages pour la plupart, fonctionnent mal du fait de l'insuffisance et/ou de l'inexistence des structures de gestion appropriées en milieu rural où des implantations des forages sur des aquifères peu propice et plus (Zoungrana, 2011). Des problèmes similaires ont également été identifié dans les communes rurales du Tchad, du Mali, Sénégal, Nigéria, Niger, Gabon et du Burkina-Faso avec les études de l'OMS qui présente l'état des lieux de la desserte en eau, assainissement et hygiène.

Au Cameroun les besoins en points d'eau potable en milieu rural à l'échelle nationale, s'élevaient à 42 903 ouvrages pour une population estimée à 12 870 925 d'habitants. Seulement 19 302 ouvrages disponibles et 23 601 ouvrages à réaliser. Portant ainsi le taux de couverture en eau potable de 45%, avec des valeurs extrêmes de 29 % pour le Nord-Ouest et l'Ouest, 89 % pour le Sud. Et le nombre de village non alimentés en eau potable s'estimait à 9 913 (FEICOM/GIZ, 2014). Au niveau de la Région de l'Est, le taux de couverture en eau potable en 2004 dans les zones rurales était sensiblement égal à 50%. Car pour des besoins en points estimés à 2.437 ouvrages, 1213 points d'eau étaient disponibles et 1 224 ouvrages étaient à réaliser (Bidjocka, 2004). Ce taux de couverture en eau potable est passé de 45% en 2004 à 57,8% en 2005 et à 65% en 2016 en milieu rural sur l'ensemble du territoire national (Defo *et al.*, 2016).

Cette étude contribuera à améliorer la démarche méthodologique de mise en œuvre dans la gestion communale des services et pourra servir d'exemple pour d'autres localités. Pour cela il sera question dans ce travail de proposer des approches pour établir l'état des lieux des ouvrages d'approvisionnement en eau potable, de Diagnostiquer le fonctionnement et l'état sanitaire des ouvrages d'AEP existant, d'analyser les modes de gestion des services d'eau et en fin analyser les forces et faiblesses du dispositif de gestion des services d'eaux.

Cadre Général de l'étude

Située dans la zone intertropicale Ouest Africaine, la République du Bénin s'étend entre 6°17' et 12°30' de latitude Nord et entre 0°45' et 4°00 de longitude Est et couvre une superficie de 114 743 km². Elle est limitée au Nord par le fleuve Niger, frontière naturelle avec la république du Niger, au Nord-Ouest par le Burkina-Faso, à l'Ouest par le Togo, à l'Est par le Nigéria et au Sud par l'Océan Atlantique du Golfe de Guinée auquel il fait front sur 124 km et s'allonge sur une distance d'environ 672 km² (GNIMADI C. C., 2013, p344). Sa largeur varie de 124 km (le long de la Côte) à 324 km à la partie septentrionale de la ville de Natitingou jusqu'au Borgou.

MATERIEL ET METHODES

Présentation de la Zone d'étude

La commune de Bétare-Oya est située dans la Région de l'Est Cameroun, Département du Lom et Djerem, Arrondissement de Bétare-Oya. Elle couvre une superficie de 12.600 km². Elle est limitée au nord par les arrondissements de Meiganga, Dir et Ngaoundal, au sud par l'arrondissement de Ngoura ; A l'est par la RCA et l'arrondissement de Garoua-boulai ; à l'ouest par les arrondissements de Bélabo et Yoko. La commune de Bétare-Oya compte 80 villages regroupés en trois cantons à savoir : le canton Laï, le canton Yayoué et le canton Mbitom (CI2D, 2017). La Figure 4 ci-dessous présente la carte administrative de la commune de Bétare – Oya.

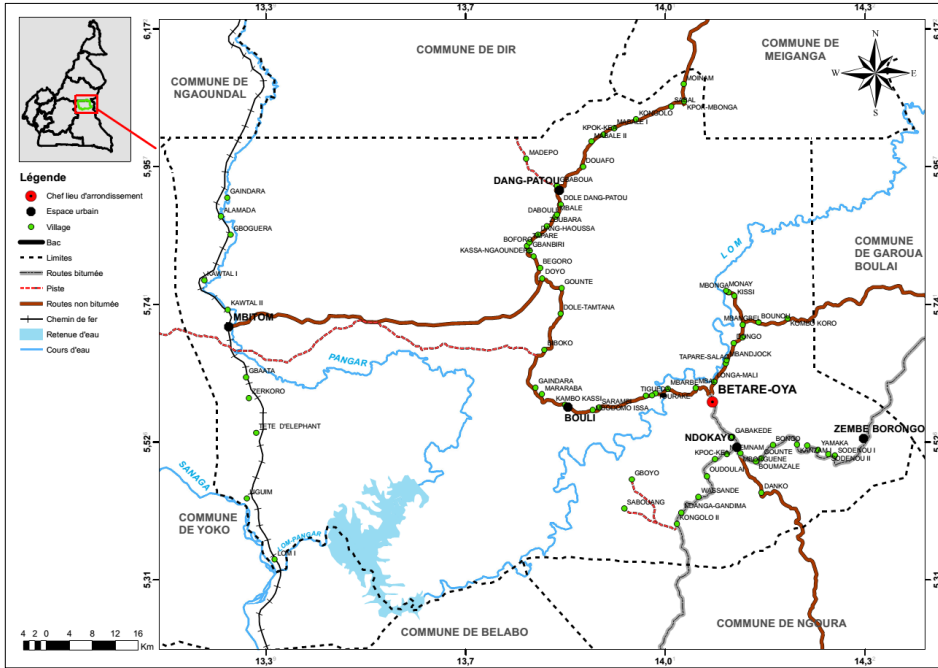


Figure 1_ Localisation de la zone d'étude

Etat des lieux des ouvrages d'approvisionnement en eau potable

Pour analyser les différents modes d'approvisionnement en eau potable, un dépouillement et un dénombrement des données collectées dans la commune ont été effectués. Cela a consisté à catégoriser les différents types d'ouvrages recensés et de les quantifier. Cet état des lieux des ouvrages a été déterminé par la méthode de la statistique descriptive. Elle a permis de calculer :

Le pourcentage de représentativité de chaque type d'ouvrage à l'aide de l'équation ci-dessous :

$$Y_{fi} = \frac{N_i}{N} \times 100$$

Où Y_{fi} représente le pourcentage de l'ouvrage i , N_i le nombre d'ouvrage i et N le nombre total d'ouvrages.

Le taux de fonctionnalité des ouvrages par la formule présentée par l'équation ci-dessous :

$$T_{fi} = \frac{NP_{fi}}{NP_t} \times 100$$

Où T_{fi} (%) représente le taux de fonctionnalité du type d'ouvrages i ; NP_{fi} , le nombre d'ouvrages i fonctionnels et NP_t le nombre total d'ouvrages.

Les besoins en point d'eau par village se calculent par la formule (3) suivante :

$$B_p = \frac{N}{N_{maxU}}$$

Où B_p représente les besoins en point d'eau ; N, l'effectif total de la population (nombre total d'habitants) et N_{maxU} , le nombre maximum d'usagers par point d'eau (qui est de 300 habitants en milieu rural selon la notion d'Equivalent de Point d'Eau du MINEE).

Le taux de couverture en point d'eau (4)

Où T_c (%) est le taux de couverture ; N_{pf} , le nombre de points d'eau fonctionnel et B_p le besoin en point d'eau

$$T_c = \frac{N_{pf}}{B_p} \times 100$$

Diagnostic du fonctionnement et état sanitaire des ouvrages d'AEP

Une enquête réalisée auprès des comités de gestion par le biais d'une grille de diagnostic des points d'eau dans 47 villages a permis de faire la typologie des ouvrages d'approvisionnement en eau potable dans la commune de Bétaré – Oya, de déterminer leur état de service (fonctionnel, non fonctionnel, dysfonctionnel et abandonné), l'état des supers structures (bon, dégradé et fissuré) et d'évaluer l'état sanitaire des points d'eau. Ces informations ont été complétées par des observations directes sur le terrain. Les données collectées ont été traitées et analysées à partir du logiciel Microsoft Excel 2013. A partir de ces données, des tableaux, des figures et des diagrammes ont été réalisés.

2.4. Analyse des modes de gestion des services d'eaux

Les entretiens menés avec les cadres communaux ont permis d'identifier les acteurs intervenants dans la gestion du service d'eau communal, leurs rôles et responsabilités ainsi que le mode de gestion du service. Les assemblées avec les usagers des points d'eau ont permis de déterminer le nombre des points d'eau disposant les CGPE (Comité de Gestion du Point d'Eau) d'une part et d'autre part les CGPE fonctionnels. L'enquête menée auprès de 54 comités de gestion des points d'eau a permis de recenser les différents tarifs pratiqués pour la vente de l'eau et de déterminer le mode les modes de paiement de l'eau et le mode de mobilisation des fonds dans la commune.

2.5. Analyse des modes de tarifications service d'eau

Les informations relatives à cet objectif ont été obtenues en analysant les composantes du service d'eau de la commune. Le dépouillement du questionnaire administré aux CGPE et de la base des données WaSH de la commune a permis de catégoriser les différents modes de tarification et les prix de vente de l'eau appliquées dans la zone d'étude.

2.6. Identification des contraintes

Les entretiens avec le Cadre Communal a permis de déterminer les contraintes liées à l'organisation du service d'eau. L'enquête menée et les assemblées faites dans les villages avec les CGPE et les usagers des points d'eau ont permis d'identifier les problèmes des CGPE dans les villages enquêtés à travers des échanges.

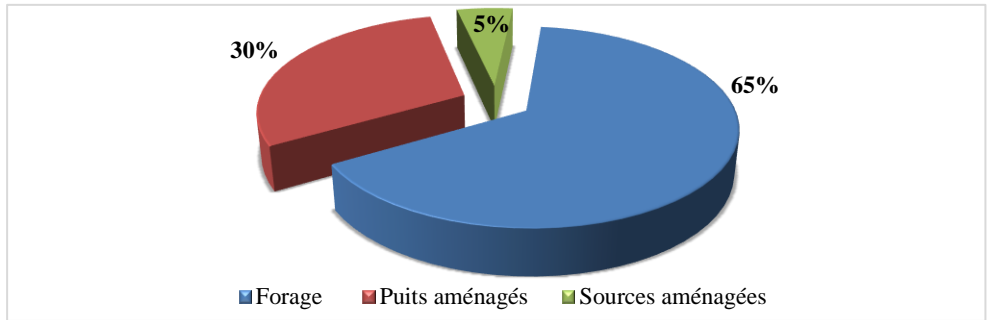
Le diagramme FFOM (force, faiblesse, opportunité et menace) a été utilisé afin de mettre en exergue les forces et les faiblesses du modèle du service d'eau appliqué à Bétaré - Oya. Les contraintes du service d'eau ont été regroupées selon les types identifiés. Une analyse particulière du FCE (Fonds Communal de l'Eau) a été effectuée afin de déterminer ses limites.

RESULTATS

Etat des lieux des ouvrages d'AEP de la Commune de Betare - Oya

Pourcentage de représentativité de chaque type d'ouvrage d'AEP

Les ouvrages d'alimentation en eau potable rencontrés dans la commune de Betare - Oya sont les forages, les puits modernes et les sources aménagées, pour un total de 97 point d'eau. La Figure 1 ci-dessous présente les proportions de chaque type d'ouvrage. Les forages constituent 65% du parc hydraulique de la commune pour un total de soixante (63). Ensuite, ce sont les puits aménagés qui représentent 30%, pour un total de vingt-neuf (29) et les sources 5% soit



cinq (05) au total.

Figure 2 : Proportion des ouvrages rencontrés dans la Commune de Betare – Oya

L'analyse de la Figure 2 montre que les forages (65% du parc hydraulique) constituent le type d'ouvrages d'AEP le plus utilisé dans la commune de Betare – Oya pour l'alimentation en eau potable. Ce résultat est fortement différent de celui de Dang (2016) sur la proportion de ce type d'ouvrages dans la commune de Mvangan ; soit un parc hydraulique constitué de 66% des puits aménagés et de 9% de forages.

Taux de fonctionnalité des ouvrages

Les taux de fonctionnalité des ouvrages d'approvisionnement en eau potable dans la commune de Betare – Oya sont présentés dans la Figure 2. Elle exprime le pourcentage de fonctionnalité des ouvrages recensés dans la commune.

D'après la Figure 3, que les sources aménagées présentent le taux de fonctionnalité le plus élevé (80%), suivi des forages (57 ; 14%) et des puits aménagés qui présentent le plus faible taux de fonctionnalité (51,72%). Le pourcentage des forages non fonctionnels est plus élevé que celui des puits aménagés. Par contre la proportion des puits abandonnés (13,79%) est largement supérieure à celle des forages (1,60%).

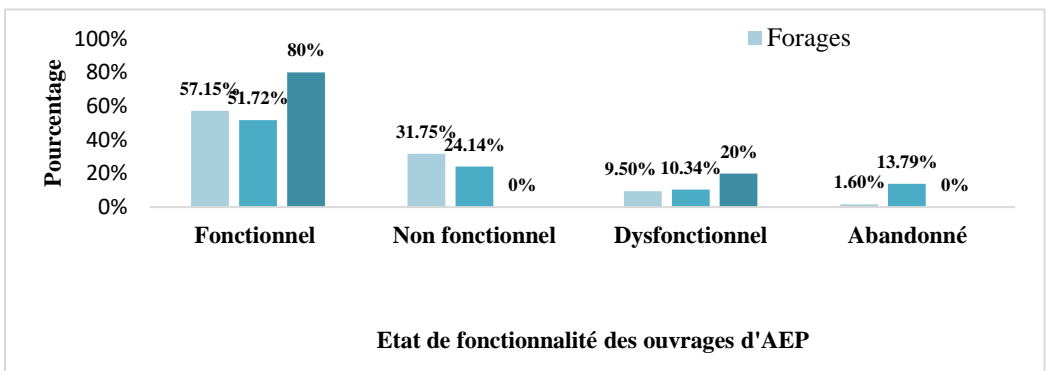


Figure 3 : Etat de fonctionnalité des ouvrages d'AEP de Betare-Oya

De façon générale, la proportion des ouvrages 'AEP fonctionnels dans la commune de Betare – Oya est de 56,70% ; avec des localités telles que Mararaba présentant les taux très faibles (0.00%) et les localités telles que Doyo, Mbale ayant des taux de fonctionnalité très élevés (100,00%). La proportion des ouvrages non fonctionnels est de 27, 83%,

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

©2022 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V(viii), Issue 1 –March 2023 - jisteec.org/volume-viii-2023/

10,30% pour les ouvrages en dysfonctionnement et 5,15% pour les ouvrages abandonnés. Le taux de fonctionnalité élevé des sources aménagées ainsi que la potentialité des émergences dans la commune de Betare – Oya seraient des facteurs favorables à l'adoption de ce type de système pour l'approvisionnement en eau des populations.

Taux de couverture en point d'eau

Les besoins en points d'eau de la commune s'élèvent à trois cent quatre deux (382) points d'eau. Donc 285 points d'eau doivent être construits et 42 réhabilités en complément de ceux existants et fonctionnels.

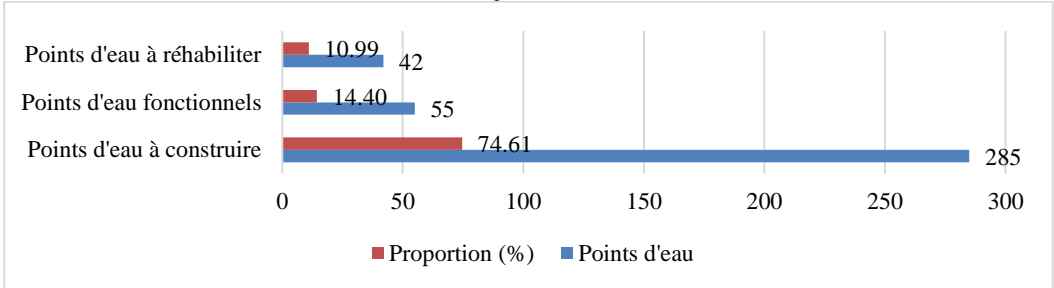


Figure 4 : Taux de couvertures en point d'eau

Ce qui laisse une proportion de couverture des besoins en points d'eau très faible, s'élevant à 14,4%, pour un taux d'équipement de l'ordre de 25,4%. Ce taux est largement inférieur à celui de Dang (2016) dans la commune de Mvangan qui s'élevait à 74,34%. La faible proportion de couverture en point d'eau peut s'expliquer par un défaut de construction des points d'eau par l'Etat, la faiblesse du financement du service, le manque de compétence pour le diagnostic et la réhabilitation des équipements défectueux.

Diagnostic du fonctionnement et état sanitaire des ouvrages AEP

Diagnostic du fonctionnement

- Etat des superstructures des puits et forages

Les éléments de la superstructure pris en compte ici sont la dalle de propreté et le canal d'évacuation des eaux usées. La Figure 5 présente le pourcentage des dalles de propretés et des canaux d'évacuation des puits et forages en fonction de leur état (Bon, en dégradation, fissuration).

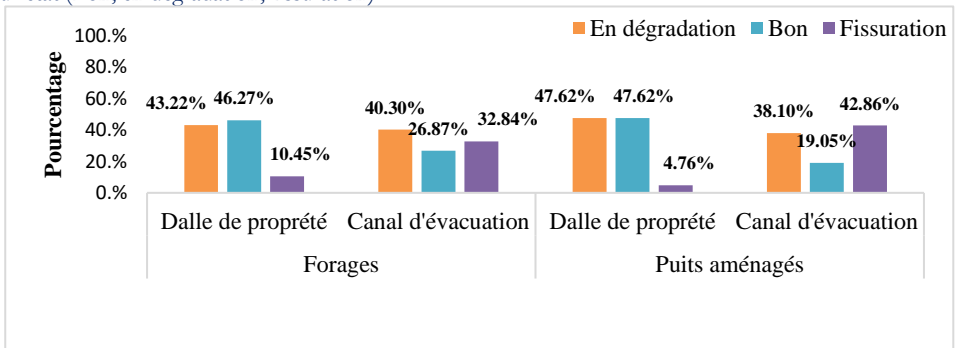


Figure 5 : Etat de la dalle de propreté et du canal d'évacuation des puits et forages

Le pourcentage des dalles de propreté des forages en dégradation est de 43,28%, celui en bonne état est de 46,27% et 10,45% sont fissurées. Tandis que 40,30% des canaux d'évacuation sont dégradés, 26,87% sont en bonne état, et 32,84% sont fissurés. Cependant, 47,62% des dalles de propreté des puits aménagés sont dégradées, 47,62% sont en bonne état et 4,76% sont fissurées. 38,10% des canaux d'évacuation sont dégradés, 19,05% sont en bonne état, et 42,86% sont fissurés.

- Existence des murs de protection des puits et forages

La Figure 6 fait état de l'existence des murs de protection (clôtures) pour les puits modernes et les forages. Dans la commune de Betare – Oya, 67% des forages ont un muret de protection et 33% n'en ont pas. 57% des puits aménagés ont un muret de protection et 43% n'en ont pas.

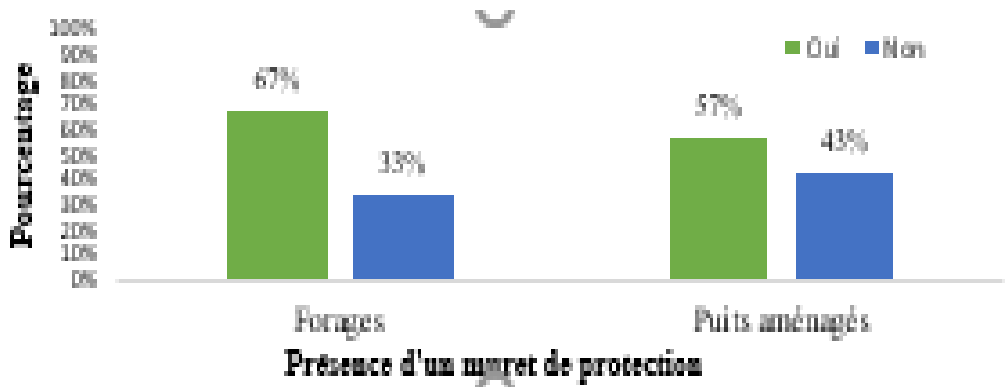


Figure 6 : Proportion des puits/forages aménagés ayant les murets de protection

D'après la Figure 6, la proportion des puits n'ayant pas de muret de protection (43%) est supérieure à celle des forages (33%). L'absence des murets de protection a les conséquences suivantes : la défécation par les bêtes en divagation et/ou les enfants sur la superstructure, les pratiques de lessive sur la dalle de protection par certains usagers du point d'eau, etc.

Etat sanitaire des points d'eau

L'état sanitaire d'un point d'eau est l'ensemble des conditions visant à garantir la salubrité d'un point d'eau. La Figure 7 ci-dessous fait état de la salubrité des points d'eau dans la commune de Betare – Oya. Les paramètres de salubrité pris en compte sont : l'éloignement du point d'eau par rapport aux latrines, l'existence du puits perdu, la stagnation des eaux au tour du point d'eau, la présence des herbes. Ainsi, en ce qui concerne l'hygiène et la salubrité autour des points d'eau 47% des points d'eau sont insalubres, 45% sont propres et 8% point sont moyennement propre.

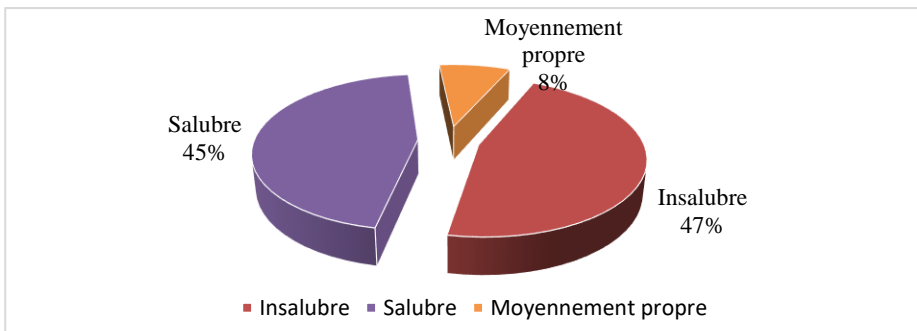


Figure 7 : Etat de salubrité des points d'eau

Il ressort de la Figure 7 que la proportion des points d'eau insalubre (47%) est supérieure aux points d'eau salubres (45%). L'insalubrité des points d'eau se caractérise par la présence d'une source de pollution aux environs du point d'eau d'une part et d'autre part par le manque du respect des règles d'hygiène et d'utilisation des points d'eau. Parmi les sources de pollution identifiées figurent majoritairement les latrines situées à moins de 50m des points d'eau, puis les ordures ménagères et les tombes. La présence des latrines et des tombes aux environs des points d'eau est due au fait que lors de la construction des points d'eau, les prestataires n'avaient tenu compte de la distance qui devrait avoir entre le point d'eau et les sources de pollution. Les points d'eau les plus exposés à la pollution sont les puits aménagés ; car leurs eaux sont captées dans les faibles profondeurs. La présence des ordures ménagères et le non-respect des règles d'hygiène autour du point d'eau sont observés au niveau des points d'eau n'ayant pas de comité de gestion et au niveau des points où les CGPE sont non fonctionnels.

. Analyse des modes de gestion du service d'eau à Betare – Oya.

Les résultats présentés dans cette partie : (i) la cartographie des acteurs, leurs rôles et responsabilités, (ii) le mode gestion du service d'eau pratiqué dans la commune, (iii) les type de tarification et de paiement de l'eau, (iv) la mobilisation et la gestion des fonds collectés.

Acteurs forces et faiblesses

• Acteurs

La Figure 8 ci-dessous représente la carte des acteurs impliqués dans la gestion du service d'eau de la commune de Betare – Oya. Elle fait ressortir les acteurs en fonction de leur niveau d'implication d'une part et d'autre part les relations qui lient ces acteurs qui sont repartis en trois groupes. L'Etat, représenté par la délégation départementale de l'eau et l'énergie du Lom et Djerem et la sous-préfecture de Betare –Oya. La société civile qui comprend les acteurs suivants : les comités de gestion des points d'eau, le cadre de concertation communal, le bureau exécutif du fonds communal de l'eau, les usagers, les ONG et les partenaires techniques et financiers. Le secteur privé comprend les artisans réparateurs et la boutique des pièces de rechange. La commune étant l'acteur principal.

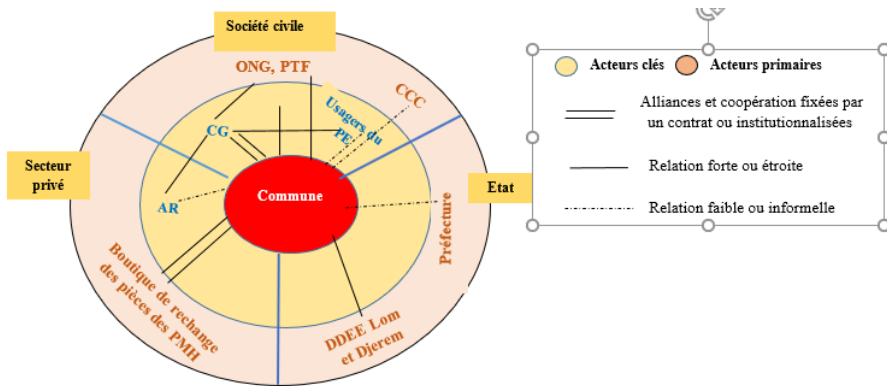


Figure 8 : Carte des acteurs

intervenant dans le service de l'eau à Betare - Oya

D'après l'analyse de la Figure 8, les acteurs sont regroupés en deux grandes catégories : les acteurs clés et les acteurs primaires avec la commune comme étant acteur principal. Les acteurs clés regroupent les CGPE (Comité de Gestion du Point d'Eau), les artisans réparateurs ; le BEFCE (Bureau Exécutif du Fonds Communal de l'Eau) et les usagers du point d'eau. Les relations liant la commune aux CGPE, sont des relations institutionnalisées qui se traduisent par la signature des conventions de collaboration entre la commune et ces derniers. Cette façon gérer cadre avec les travaux de Hounmenou, (2006) relatif à la gouvernance de l'eau potable et dynamique locale en zone rurale au Mali. La relation qui lie la commune à la boutique de rechange des pièces des PMH (Pompe à Motricité Humaine) est une relation institutionnalisée ; car elle est régie par une convention. Les relations qui lient la commune à la délégation ministérielle de l'eau et l'énergie ainsi qu'aux ONG et aux partenaires techniques et financiers sont des relations fortes.

Forces et faiblesses des acteurs intervenant dans le service d'eau de Betare – Oya

Les forces et les faiblesses des différents acteurs impliqués dans la gestion du service d'eau dans la commune de Betare – Oya sont résumées dans le Tableau I ci-dessous.

Tableau I : Forces et faibles des acteurs intervenant dans le service d'eau de Betare – Oya

Acteurs	Forces	Faiblesses
DDEE Lom et Djerem	Maitrise du cadre règlementaire et législatif qui favorise son intervention.	Manque des moyens humains, technique et financier. Lourdeurs administratives

Commune de Betare - Oya	Existence d'un service technique Présence d'un Point Focal Eau s'occupant spécifiquement des questions d'eau potable et d'assainissement ; Volonté de la Mairie à améliorer l'offre en eau potable ; Relation avec les partenaires techniques et financiers.	Personnel insuffisant et peu qualifié en la matière. Manque des moyens financiers
BEFCE	Légitimité reconnue	Membres peu qualifiés sur les questions d'eau.
CGPE	Sont autonomes dans la gestion administrative et financière des points d'eau.	Mauvaise gestion financière des points d'eau ; Absence de formation des membres de certains comités de gestion.
Artisans réparateurs	Maitrisent le dépannage des PMH	Précarité du statut
Usagers	Reconnaissent la place et l'importance des comités de gestion des points d'eau ; Certains usagers sont des conseillers municipaux.	Refus du paiement des cotisations par certains usagers ; Faible revenu.
Partenaires Techniques et Financiers	Ils ont de l'expertise technique Possèdent des moyens financiers	Interventions saisonnières

Mode de gestion du service d'eau et tarification à Betare – Oya.

Mode de gestion du service d'eau

Le mode gestion du service d'eau pratiqué dans la commune de Betare – Oya est la gestion déléguée à travers la gestion communautaire. La commune a délégué la gestion des points d'eau aux comités de gestion des points d'eau. Cette délégitimation moyennant une convention entre la commune et lesdits comités de gestion confèrent à ces derniers une légitimité de gestion des points d'eau. La Figure 7 présente le pourcentage des points d'eau ayant les comités de gestion. Sur les 97 points d'eau recensés, 54% ont un comité de gestion et 46% n'en ont pas. Cette approche développée par Guillaume et al., 2014 permet de mieux appréhender l'implication des communautés dans la gestion des points d'eau et pour ce fait faciliter leur accompagnement vers une autonomisation.

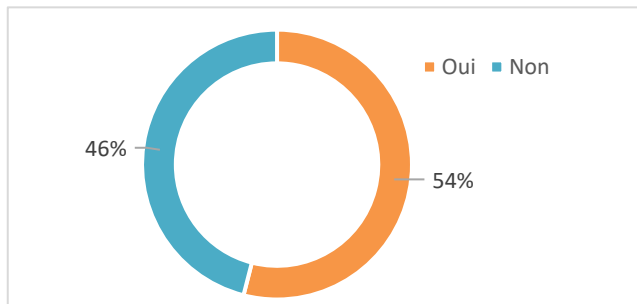


Figure 9 : Proportion des CGPE existants

L'analyse de la Figure 9 permet de constater que la proportion des points d'eau ayant les comités de gestion est supérieure à ceux qui n'en ont pas (46%). Il faut noter que la proportion des points d'eau n'ayant les comités de gestion n'est pas négligeable. Cette situation est due au fait que lors de la construction des ouvrages les comités de gestion n'ont pas été mis en place.

La Figure 10 quant à elle fait état de la fonctionnalité des comités de gestion existants. Parmi les comités de gestion existants, 56.60% sont fonctionnels et 43.40% sont non fonctionnels.

Figure 12 ci-dessous.

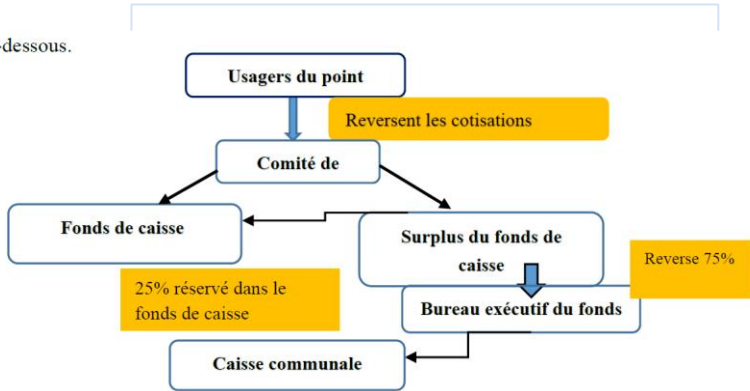


Figure 10 : Proportion des CGPE existants fonctionnels

Il ressort de cette Figure 10 que la proportion des comités de gestion fonctionnels est supérieure à celle des comités non fonctionnels. Cependant, le pourcentage des CGPE non fonctionnel est très important. Ce pourcentage important des comités gestion non fonctionnel est dû au fait que la commune de Betare – Oya ne dispose pas assez de personnel pour couvrir l'ensemble du parc hydraulique et suivre tous les comités de gestion des points d'eau.

Tarifification et mode de paiement de l'eau

Le prix de vente de l'eau varie selon les villages et les points d'eau. La Figure 9 ci-dessous présente les différents de vente de pratiqués au niveau des villages enquêtés. Les prix de vente de l'eau varient de 200 à 500 francs par mois et 1 franc à 1,25 franc le litre. Ainsi, 30% des CGPE pratiquent le prix de 300/mois, 11% 500/mois et 13% 200/mois. 11% des CGPE vendent de l'eau à 1 franc par litre et 16% à 25 francs le bidon de vingt litres.

Figure 11 : Prix de vente de l'eau pratiqués dans la commune de Betaré – Oya

D'après l'analyse de la Figure 11 inspiré des travaux de François et Damien, (2013) de, deux modes de paiements sont pratiqués dans la commune. Il s'agit du paiement par forfait mensuel d'une part où les usagers payent un montant préalablement fixé de concert avec les CGPE. Ces forfaits varient de 200 à 500 francs par mois. Le deuxième mode de paiement est le paiement au volume où les usagers paient en fonction de l'unité de volume à puiser (le litre) ; qui varie de 1 franc le litre à 25 francs le bidon de 20 litres soit 1,25 franc le litre. Il ressort aussi de cette Figure 9 que l'accès à l'eau dans 19% des points est gratuit. Il s'agit des sources et des puits /forages se trouvant dans les écoles publiques. Cependant, il existe deux groupes de personnes qui sont assujetties à une tarification particulière. Il s'agit des vendeurs d'eau qui payent une somme de 1000 (mille) francs par jour et les chinois qui payent 5000 (cinq mille) francs le mois.

Ces différents prix pratiqués au niveau des points d'eau sont le reflet de l'autonomie que jouissent les CGPE dans la gestion des points qui leur sont confiés et la volonté des populations à payer de l'eau.

Dans la commune de Betare – Oya, la mobilisation des fonds se fait selon le schéma illustré

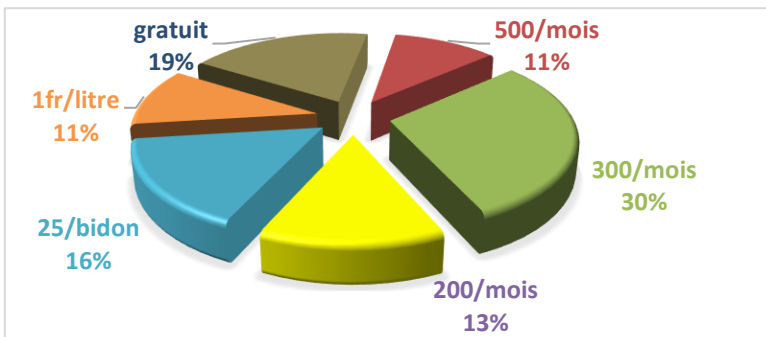


Figure 12 : Circuit de collecte et de circulation des fonds

L'analyse de la Figure 12 ci-dessus montre qu'après avoir collecté les fonds auprès des usagers, le comité de gestion garde un fonds de caisse de 50 000 francs et reverse les 75% du montant supplémentaire au fonds de l'eau par le biais du chargé du recouvrement du Bureau exécutif du fonds de l'eau. Ces fonds sont reversés dans un compte spécial prévu à cet effet. Les fonds issus du Fonds de l'eau servent prioritairement à effectuer les réparations des points d'eau pour un montant supérieur à 50 000 francs ; tandis que ceux restant dans les caisses du comité de gestion servent aux réparations des pannes inférieures à 50 000 francs.

Identification des contraintes du service d'eau et proposition des solutions

Analyse FFOM du service d'eau dans la commune de Betare – Oya

Le Tableau II ci-dessous présente l'analyse FFOM du service d'eau dans la commune de Betare- Oya. Il a pour but de faire ressortir les forces, les faiblesses, les opportunités et les menaces dudit service cette approche d'analyse se rapproche au mieux de ceux de Mohamed, (2007) et Nombre, (2010) qui passe en revue tous les acteurs, leurs rôles, leurs forces et ainsi que leurs faiblesses pour en découler sur des suggestions amélioratives

Tableau II : Analyse FFOM du service d'eau dans la commune de Betare – Oya

Forces	Faiblesses
Volonté de la commune à améliorer l'offre de la fourniture en eau potable et à garantir une gestion pérenne de ses ouvrages d'AEP. Mise en place du fonds communal de l'eau. Dynamisme de l'exécutif communal dans l'accompagnement fonds communal de l'eau. Forte représentation de la population dans le BEFCE. Relations institutionnalisées entre la commune et certain acteurs (CGPE, boutique de rechange des pièces des PHM). Présence des comités de développement dans les villages et quartiers.	Insuffisance d'un personnel qualifié en la matière. Insuffisance des moyens logistiques Défaut de planification Faiblesse du financement du service d'eau Inexistence et non fonctionnalité des comités de gestion Faible maîtrise des rôles et responsabilités de certains acteurs. Faible transparence dans la gestion des points d'eau Mauvaise qualité des ouvrages Statut précaire des artisans réparateurs
Opportunités	Menaces
Décentralisation (compétences transférées aux communes) ; Cadre réglementaire et législatif favorable Présence des partenaires techniques et financiers disposés à appuyer la commune dans le développement du secteur Eau et Assainissement ; Développement d'une gestion concertée de l'eau (cadre de concertation communale) ; Fort potentiel des émergences de sources dans la commune.	Faible volonté des usagers à payer les cotisations exigibles ; Redevabilité quasi inexistante ; Augmentation du nombre des réfugiés dans la zone.

En analysant le Tableau II ci-dessus, le service d'eau dans la commune de Betare – Oya présente trois principales forces. La première est la volonté de la commune à améliorer l'offre de la fourniture en eau potable et à garantir une gestion pérenne de ses ouvrages d'AEP. La deuxième est la mise en place du fonds communal de l'eau et enfin, le dynamisme de l'exécutif communal dans l'accompagnement fonds communal de l'eau dans la mise en œuvre de ses activités. En ce qui concerne les faiblesses, les plus importantes sont : Insuffisance des moyens logistiques et d'un personnel qualifié en la matière, le défaut de planification et la faiblesse du financement du service. Cette analyse La présence des partenaires techniques et financiers disposés à appuyer la commune dans le développement du secteur de l'eau et l'assainissement ainsi que le fort potentiel des émergences de sources dans la commune constituent des véritables opportunités à exploiter par la commune la commune pour améliorer d'une part l'offre du service et d'autre part renforcer sa capacité financière. Cependant, la faible volonté des usagers (population locale) à payer les cotisations et l'augmentation du nombre des réfugiés dans la commune qui refusent aussi de payer les cotisations consistent des menaces pour le service d'eau de la commune. En ce sens que la première source de revenu du fonds communal de l'eau est issue des recettes provenant des cotisations des usagers.

Contraintes du service d'eau de la commune de Betare – Oya.

- Contraintes techniques

- a) Mauvaise qualité des ouvrages d'AEP

L'analyse de la Figure 6 a montré que 31,57% des forages sont non fonctionnels et 9,50% en dysfonctionnement. Le pourcentage des puits aménagés des puits non fonctionnels s'élève à 24,14%, celui des puits en dysfonctionnement à 10,34% et 13,79% des puits aménagés sont abandonnés. Ce qui réduit l'accès à l'eau potable à aux populations situées à proximités de ces points. Elles sont donc obligées de se déplacer pour aller chercher de l'eau soit au niveau des sources non aménagées, soit au niveau des autres points d'eau aménagés créant ainsi des conflits.

- b) Inexistence et non fonctionnalité des comités de gestion des points d'eau

L'analyse des Figures 11 et 12 a montré que 46% des points d'eau n'ont pas de CGPE et que 46,40% des CGPE existants sont non fonctionnels. Ces deux facteurs constituent une véritable contrainte en ce sens que les points d'eau délaissés aux populations qui se livrent parfois aux actes de vandalisme.

- Contraintes organisationnelles

- a) Faible maîtrise des rôles et responsabilités des acteurs

Cette faible maîtrise est due à l'incompréhension et/ou au manque d'appropriation des rôles et responsabilités des différents acteurs intervenants dans la gestion du service d'eau dans la commune de Betare – Oya. Le Tableau III ci-dessous présente les limites des différents acteurs.

Tableau III : Limites des acteurs impliqués dans le service d'eau à Betare-Oya

Acteurs	Limites
DDEE du Lom et Djere	Faible accompagnement de la commune Insuffisance des ressources humaines
Commune	Niveau d'appropriation de la maîtrise d'ouvrage communale dans le secteur de l'eau et d'assainissement Insuffisance des compétences techniques en matière d'eau et d'assainissement. Faible suivi du parc hydraulique
CGPE	Incompréhension des rôles Mauvaise gestion administrative et financière
Usagers du point d'eau	Refus du paiement des cotisations Refus de participer au nettoyage du point d'eau
BEFCE	Non maîtrise du mandat Forte représentativité de la commune dans le bureau Statuts inexistant
Artisans réparateur	Faible niveau d'instruction Statut précaire

Dans ce Tableau III, le faible niveau d'appropriation de la maîtrise d'ouvrage communale dans le secteur de l'eau et d'assainissement, l'insuffisance des compétences techniques en matière d'eau et d'assainissement et le faible suivi du parc hydraulique constituent les principales limites de la commune de Betare- Oya. Le faible niveau d'appropriation de la maîtrise d'ouvrage est dû au fait que l'exécutif communal est n'est formé dans la maîtrise d'ouvrage communal. Le faible suivi du parc hydraulique communal est la conséquence d'un nombre insuffisant des ressources humaines au sein du service technique. La grande de la charge du travail est assigné au Point Focal qui ne saurait effectuer le suivi du parc hydraulique communal. Il ressort que l'incompréhension des rôles des membres et la mauvaise gestion administrative et financière constituent les principales des CGPE. Ces limites ont été relevées par Heveltas (2016). Elles sont dues au fait que les membres des CGPE ne sont pas assez formés d'une part et d'autre part ne sont pas assez instruits pour la majorité. Un renforcement des capacités et une sensibilisation adéquate seraient utiles pour les membres des CGPE.

Le refus de payer les cotisations et de participer au nettoyage des points d'eau par les usagers est la conséquence de la faible compréhension du développement par ces derniers tel qu'évoqué par Heveltas (2016). En ce qui le bureau exécutif du fonds communal, la non maîtrise du mandat la forte représentativité du personnel communal en son sein et les statuts inexistant sont dus au fait que le fonds communal de l'eau est une structure embryonnaire au sein de la commune de Betare –Oya.

b. Conflits

Les conflits majeurs recensés autour de la gestion du service d'eau dans la commune de Betare - Oya tournent autour de la gestion des points d'eau par les comités de gestion. Ces conflits se manifestent à deux niveaux. Le premier niveau concerne les usagers du point d'eau et les membres des CGPE et le deuxième niveau entre les CGPE et la Mairie.

Dans le premier cas, les usagers refusent de payer les cotisations mensuelles, cependant se rendent vers les ouvrages construits et aménagés pour s'approvisionner en eau ; alors que l'accès leur est interdit et le deuxième cas, les membres des CGPE ne reversent pas régulièrement les fonds collectés auprès des usagers dans le Fonds de l'Eau.

c. Défaut de planification

Dans la commune de Betare – Oya, on note un défaut de planification des activités dans le suivi du parc hydraulique. Ce défaut de planification se manifeste par l'absence d'un plan d'action. Cela est dû au fait que les services techniques de la commune sont confrontés à un problème de ressource humaine insuffisante et peu compétente en la matière.

- Contraintes financières
- a. Paiement de l'eau

Dans la commune de Betare – Oya, les usagers sont réticents au paiement des cotisations exigibles. Car disent-il « l'eau est gratuite ». Ceux des usagers qui le font de façon irrégulière. Selon Kokou et Teisseri (2010). Cette attitude est générale en milieu rural, les usagers n'ont pas la culture de payer l'eau et cela constitue un frein pour le service de l'eau.

b. Financement du service d'eau

Le financement du service d'eau dans la commune de Betare – Oya constitue une contrainte majeure dans le fonctionnement du service d'eau. Seuls 3.09% des ouvrages d'AEP construits sont financés par les fonds propres de la commune. Le reste des ouvrages sont construits par les financements publics de l'Etat. Ce faible taux est dû au fait que la Marie n'investit pas assez pour dans la construction des ouvrages d'AEP ainsi que dans leur gestion.

Propositions de solutions techniques et organisationnelles d'amélioration du service communal de l'eau à Betare- Oya

Pour améliorer les contraintes techniques (A) et organisationnelles constatées (B) lors des analyses, les solutions contenues dans le Tableau IV ci-dessous ont été proposées. Il contient quatre colonnes. Une colonne pour les principales contraintes identifiées, une colonne pour les solutions proposées, une colonne pour les responsabilités ; c'est dire les acteurs concernés par la mise en œuvre des solutions proposées. La dernière colonne contient les prérequis de mise en œuvre des solutions proposées.

Tableau IV : Solutions proposées pour les contraintes techniques et organisationnelles

A. Solutions aux contraintes techniques			
Contraintes	Solutions proposées	Responsabilité	Prérequis de la mise en œuvre
Qualité des ouvrages	Employer les prestataires qualifiés et suivre l'exécution des travaux sur le terrain. Améliorer les procédures de passation des marchés	Etat, Société civile	Bonne définition des cahiers de charges Disponibilité des études de faisabilité
Fonctionnement CGPE	Dynamiser, former et formaliser les CGPE.	Etat / services techniques.	Participation dans les élections des membres des CGPE.
B. Solutions aux contraintes organisationnelles			
Contraintes	Solutions proposées	Responsabilité	Prérequis de la mise en œuvre
Maitrise des rôles et responsabilités des acteurs au à Betare - Oya	Organiser les ateliers de sensibilisation et d'échange des rôles et responsabilités des acteurs de l'eau. Faciliter la population réfugiée dans les CGPE et le BEFCE	Services techniques et financiers Société civile (organisation locale) Mairie	Bonne définition des rôles et responsabilités de chaque acteur.
Flux des réfugiés	Organiser les séances de sensibilisation en direction des réfugiés.	Mairie Services techniques et financiers	Prendre en compte les considérations sociales et les tabous des réfugiés dans la mise en œuvre des activités.
Conflits	Sensibiliser les usagers et les CGPE sur l'importance du paiement de l'eau Impliquer les membres des CGPE à la prévention et à la gestion des conflits	Mairie BEFCE	Clarifier et comprendre le contexte de conflit
Manque de planification	Elaborer les plans d'action WaSH annuel Renforcer les capacités du service technique de la commune en matière d'eau et d'assainissement Structurer le FCE et le rendre opérationnel	Commune / BEFCE Services techniques et financiers Déconcentré de l'Etat chargé de l'eau	Emploi d'un personnel compétent (commune). Adoption en place d'une stratégie concertée sur l'eau.

La première partie (A) du Tableau IV présente les solutions liées aux contraintes techniques ainsi que les acteurs responsables de la mise en œuvre de ces solutions. Le recrutement des prestataires qualifiés et le suivi de l'exécution des travaux sur le terrain, ainsi que l'amélioration des procédures de passation des marchés permettront d'améliorer la qualité des ouvrages construits. Cette responsabilité incombe principalement à l'Etat. La redynamisation, la formation et la formalisation des comités de gestion par la Mairie permettra d'améliorer le fonctionnement des CGPE. Ces solutions sont similaires à celles proposées par la SNV (2013) pour l'amélioration de la gestion durable des points d'eau en République Démocratique du Congo.

La deuxième partie (B) du Tableau VII présente les solutions liées aux contraintes organisationnelles. L'organisation des ateliers de sensibilisation sur les rôles et responsabilités des différents acteurs intervenant dans le service d'eau à Betare – Oya facilitera la compréhension et favorisera l'appropriation des rôles et responsabilités par les différents acteurs. De telles actions sont plus bénéfiques lorsqu'elles sont organisées par des partenaires techniques et financiers tel que la GIZ. L'élaboration des plans d'actions annuels favorisera la planification des activités et augmentera l'efficacité des interventions au sein de la commune.

CONCLUSION

L'objectif de la présente étude était de contribuer à améliorer la fourniture en eau potable des populations de la Commune de Betare – Oya. Afin d'atteindre cet objectif on a : (i) effectué un état des lieux des différents modes d'alimentation en eau potable de ladite commune, (ii) analysé les différents modes de gestion de l'AEP et (iii) identifié les principales contraintes liées à la gestion du service d'eau et proposé les solutions.

A Betare – Oya, les principaux ouvrages d'AEP sont les forages (65%), les puits aménagés (30%) et les sources (5%). Ces ouvrages contribuent à un taux de couverture en point d'eau de 14,4% pour un taux de fonctionnalité global de 56,27%.

Le mode de gestion du service d'eau pratiqué à Betare – Oya est la délégation de service aux comités de gestion des points d'eau. Les principaux acteurs identifiés ont été regroupés en deux catégories. Les acteurs clés et les acteurs primaires dont les principaux sont la commune, les comités de gestion des points d'eau et le bureau exécutif du fonds

communal de l'eau et les artisans réparateurs. Le prix de l'eau varie de 0fr/litre à 1.5frs/litre et 200frs/mois jusqu'à 500frs/mois. Dans l'ensemble du parc hydraulique, 19% des points d'eau offre un service gratuit. La non fonctionnalité des CGPE, les conflits, la faible maîtrise des rôles et responsabilités des acteurs et l'afflux des réfugiés dans la localité sont les principales contraintes liées à la gestion du service d'eau relevées dans la commune. Parmi les solutions proposées la restructuration du fonds communal de l'eau est l'une des plus importantes. Car il devra contribuer significativement au suivi du parc hydraulique de la commune et à l'autonomisation financière du service.

Références

1. Ayang, A. P. 2014. Diagnostic des équipements d'approvisionnement et évaluation des ressources potentielles en eau potable dans le groupement Bamendjo, Mbouda Région de l'Ouest du Cameroun. Rapport de stage. Université de Dschang, antenne d'Ebolowa. Ebolowa, Cameroun. 61p
2. Bidjocka.2002. Etat actuel de la mobilisation des Ressources en Eau au Cameroun : contraintes et perspectives. MINEE. 24p.
3. Bron.F, Saïdatou et Seyeni. S.Y. 2015. Les institutions et organisations intervenant dans la gestion de l'eau. Réseau National des chambres d'agricultures du Niger. Note d'information législation. Février 2015.4p.
4. Charpentier. S, Denis. D, Vincent. D, Sylvette .M et Béatrice.T. 2014. Développer les services d'eau potable. 18 questions pour agir. Programme Solidarité- Eau, Paris, France. 100p.
5. Dang.V.2016. Etat des lieux et mesures de réhabilitation des points modernes dans la Commune de Mvagan, Région du Sud-Cameroun. Mémoire de fin d'études en Génie de l'Eau FASA/FMBEE, Université de Dschang, antenne d'Ebolowa. Ebolowa, Cameroun. 86p.
6. Defo. C, Mishra. A.K, Yerima. B.P.K, Mabou. P.B, Ako. A.A et Fonkou. T. 2016. Current conditions of groundwater resources development and related problems in the Republic of Cameroon, West Africa. European water publications. 26p.
7. FEICOM/GIZ. 2014. Appui à la maîtrise d'ouvrage communal, secteur Eau et Assainissement. 56p.
8. François. B et Damien .2013. La question de recouvrement des coûts et de la tarification de l'eau en milieu rural.56p.
9. Guillaume. A, Christophe. B, Sophie. C, Denis. D, Vincent. D, Sylvette. M, Philipe .M et Béatrice. T. 2014. Maîtrise d'ouvrage des services publics d'eau et d'assainissement : quels besoins en termes de renforcement des capacités ? Rapport d'étude programme Solidarité- Eau. 33p.
10. Heveltas. 2016. Des acteurs locaux au service de l'eau. Haïti. 18p.
11. Hounmenou B. G. 2006. Gouvernance de l'eau potable et dynamique locales en zone rurale au Bénin. Développement durable et territoires Dossier N°6. 20p.
12. Kokou S. et Teissier.L. 2010. Appui à la maîtrise d'ouvrage communale pour un service public d'eau et d'assainissement. 84p.
13. Mohamed T.2007. Manuel des analyses socio-économiques et de gestion des points d'eau. Volume 3 coût de l'eau des ouvrages hydrauliques en milieu rural. Maison d'édition, MISEREOR e. V. 63p.
14. Nkengfack. H, Noubissi. E. D et Kamajou. F. 2017. Analyse des déterminants de l'offre de l'eau potable au Cameroun. 22p.
15. Nombre.I. 2010. Etude d'évaluation de l'efficacité des structures villageoises de gestion des forages au Burkina Faso.60p.
16. SNV. 2013. Gouvernance, gestion et entretien durable des points d'eau. Résultats de l'atelier d'échange et de partage multi-acteurs. RD Congo, Kinshasa. 34p.
17. Zoungrana.D. 2011. Alimentation en eau potable en zone rurale : évaluation des progrès vers les prestations des services durables. La Haye. 70p.

Les eaux de sources embouteillées en Algérie : rétrospectives et perspectives

Zella lakhdar¹

(1) Université de Blida Algerie

Résumé

Au même titre que l'air, l'eau est un élément primordial à la vie. Les humains en consomment régulièrement 1 à 3 l par jour. La soif est un signal de manque d'eau de l'organisme qu'il faille restituer au plus vite. Si cet aspect quantitatif est régulé par l'apport d'eau de boisson, l'aspect qualitatif est en revanche estimé selon les caractéristiques organoleptiques (couleur, odeur goût). C'est ainsi que les hommes ont toujours préféré les eaux de sources aux eaux de rivières, une préférence matérialisée par les romains en acheminant l'eau de source aux villes via les aqueducs et aussi en multipliant les thermes pour les multiples avantages que procurent sur le plan de la santé. Les curistes ont prolongé leur cure en consommant l'eau thermale des sources, devenue par la force des choses un médicament prescrit par le médecin et délivré en pharmacie. La consommation de l'eau minérale a prit un essor considérable au fil des années, un cosmopolitisme accentué à l'apparition de la bouteille en plastique et la multiplication des centres commerciaux.

Ainsi, les volumes consommés ont évolué d'année en année et la population qui consomme l'eau embouteillée ne cesse d'augmenter. Cette préférence de l'eau embouteillée se fait au détriment de l'eau de robinet de bonne qualité livrée par le réseau public. La consommation moyenne dans le monde est de 63 l/individu/an, les mexicains sont les plus grands consommateurs (275 l), les français (145 l) et les algériens (63 l).

La substitution de l'eau de robinet par l'eau minérale embouteillée est elle due à la qualité de l'eau du robinet ou à son aspect prétendument thérapeutique? L'homéostasie de l'eau (H₂O), étroitement liée à celle des électrolytes (sels) divergent lors de l'absorption intestinale. Il ne s'agit pas de faire de simple addition des sels contenus dans l'eau embouteillée. Beaucoup de flou entoure cette question. Le rapport du coût révèle que l'eau embouteillée est 4500 fois chère que l'eau du robinet dans le cas de l'Algérie. Les énormes volumes d'eau soutirés des nappes souterraines exposent ces dernières au tarissement. Les désavantages de l'eau en bouteille sont surtout liés à leur empreinte carbone, et leur impact environnemental généré par la pollution des déchets-bouteilles

Mots clés : eau de source, eau embouteillée, minéraux, plastique, pollution.

Bottled spring waters in Algeria: retrospectives and perspectives

Abstract:

As air, water is an essential element of life. Humans regularly consume 1 to 3 liters per day. Thirst is a signal of a lack of water in the organism that must be replenished as soon as possible. If this quantitative aspect is regulated by the supply of drinking water, the qualitative aspect is on the other hand estimated according to the organoleptic characteristics (color, odor, taste). This is how men have always preferred spring water to river water, a preference materialized by the Romans by transporting spring water to cities via aqueducts and also by multiplying the thermal baths for the multiple advantages that the health plan. The spa guests extended their cure by consuming thermal water from the springs, which by force of circumstance became a medicine prescribed by the doctor and dispensed in pharmacies. The consumption of mineral water has grown considerably over the years, a cosmopolitanism accentuated with the appearance of the plastic bottle and the multiplication of shopping centers.

Thus, the volumes consumed have evolved from year to year and the population that consumes bottled water continues to increase. This preference for bottled water is to the detriment of good quality tap water delivered by the public network. The average consumption in the world is 63 l/individual/year; the Mexicans are the biggest consumers (275 l), the French (145 l) and the Algerians (63 l).

Is the substitution of tap water by bottled mineral water due to the quality of tap water or to its supposedly therapeutic aspect?

Water (H₂O) homeostasis, closely linked to that of electrolytes (salts), diverges during intestinal absorption. It is not a question of simply adding the salts contained in bottled water. Much vagueness surrounds this question. The cost ratio reveals that bottled water is 4500 times more expensive than tap water in the case of Algeria. The huge volumes of water withdrawn from groundwater expose the latter to drying up. The disadvantages of bottled water are mainly related to their carbon footprint, and their environmental impact generated by the pollution of bottle waste.

Key Words: Drinking water, Supply works, Water needs, municipal management, Hygiene and Sanitation.

¹ Corresponding author: lakhdarz@yahoo.fr

INTRODUCTION

Depuis plus de 3 milliards d'années, la Terre est devenue la planète bleue, la seule du système solaire à contenir autant d'eau liquide, solide et gazeuse à sa surface. Cette énorme masse d'eau, à 97% salée, est mue par l'énergie solaire dans un mouvement majeur ascendant (évaporation) et descendant (précipitation). L'évaporation est en soi une excellente opération de purification, en ce sens que cette distillation permanente ne fournit que de l'eau quasi pure à l'atmosphère. Cette eau se concentre en nappes nuageuses qui se transforment en précipitations dont une partie tombe sur les terres émergées où elle ruisselle, s'infiltre, prélevée, stockée et utilisée pour être enfin restituée au milieu naturel. De nuée, à ondée, à névé, à nuée se perpétue le cycle éternel de l'eau.

De cette manne hydrique, seuls 3% sont constitués d'eau douce dont 2,28% sont des glaciers perchés notamment aux latitudes polaires. Les ressources souterraines sont estimées à 0,675% et les ressources superficielles à 0,0441%. Le reste, soit 0,0009% forme l'eau vapeur de l'atmosphère. Ces différents réservoirs sont naturellement connectés assurant un transvasage permanent au gré de conditions affectant les propriétés de l'eau.

L'humanité dont la population a atteint les 8 milliards d'individus cette année (2022) puise son eau naturellement des ressources souterraines et superficielles. Du fait de la croissance démographique permanente, les ressources hydriques d'eau douce sont de plus en plus sollicitées. Dans certains endroits, elles ne suffisent plus d'où le recours au dessalement de l'eau de mer. Sur la base d'un besoin standard quotidien de 150 l, les volumes nécessaires aux besoins domestiques à la population mondiale sont de 1,2 milliards de m³. Les mêmes volumes requis pour l'Algérie, évaluée à 45 millions d'individus, sont de 6,75 millions de m³. Il faut ajouter à ces volumes domestiques, ceux relatifs aux besoins agricoles et industriels, sans omettre ceux relatifs à l'environnement et ses écosystèmes. Les eaux douces qui totalisent environ 40 millions de km³ à l'échelle de la planète, sont-elles suffisantes pour combler ces besoins en perpétuelle croissance ? Il en existe de fortes préemptions que la vulnérabilité des ressources en eau et en conséquence celle des populations sera accentuée avec les changements climatiques et l'inexorable augmentation de la population qui frôlera les 10 milliards d'individus en 2050 selon l'ONU (2022).

1. Respect et vénération de la source d'eau

Depuis que l'Homme existe sur Terre, il a toujours préféré dominer les sources de son approvisionnement d'eau, en s'installant à proximité des cours d'eau et des sources. Parmi les besoins domestiques les plus importants, ceux relatifs à la boisson sont expressément vitaux. Et on peut estimer que l'Homme se satisfait au quotidien d'un volume personnel de 2 à maximum 3 l d'eau, ce qui représente environ 1% de ses besoins domestiques. Les hommes ont instinctivement toujours préféré les eaux courantes aux eaux stagnantes, mais ils ont tissé des liens de respect et de vénération envers ces singulières émergences. L'histoire est très riche des légendes propices à leur bienveillance et leur magnanimité. Dans certaines sociétés, ces points d'eau sont vénérés tels des Saints, auréolés à ce titre par des sacrifices et de l'adoration.

Bien que les anciennes civilisations soient toutes qualifiées d'hydrauliques, cependant le culte de l'eau claire et propre revient aux Grecs et par extension aux Romains qui préféraient les eaux de sources pour les avoir généralisées dans tout leur Empire. En témoigne de nos jours, les nombreux aqueducs convergeant vers leurs cités et demeures. Les romains ont largement adopté les eaux de source en raison sans doute de leur transparence et leur fraîcheur.

C'est ainsi que l'homme s'est adapté à la présence d'eau dans son domicile ou dans son quartier. Sinon, les sociétés anciennes se sont régulièrement approvisionnées en eau à partir des sources même si elles sont lointaines. Cette pratique a subsisté durant toute l'Antiquité et le Moyen Age et continue jusqu'à nos jours dans certaines contrées. Avant que la distribution moderne d'eau ne voie le jour, les fontaines ont été généralisées dans les villes, l'eau coulait sans interruption et les usagers venaient se servir selon leur besoin. Le métier de porteur d'eau s'est largement imposé dans les villes. A bout de bras ou à dos d'ânes et de mulets, l'eau est transportée à l'aide de seaux, de cruches ou de récipients à anses. Du Moyen Age jusqu'au XIX^e siècle, les porteurs d'eau sont le principal moyen de distribution d'eau. La corvée de l'eau va perdurer jusqu'au début de notre siècle. En 1850, le nombre de porteurs d'eau à Paris, par exemple a atteint environ 2000 et les derniers ont pris leur retraite forcée en 1900 (Constance de Font-Reaulx, 2023).

En Algérie, en campagne ou en ville, les habitants sont alimentés soit par des fontaines aménagées, des sources naturelles ou des puits. Dans l'ancien Alger, la Casbah, la population au XV^e siècle est irriguée particulièrement par une constellation de deux cents sources d'eau, aménagées en fontaines dont il ne reste actuellement que cinq (Babzaman, 2015). Une armée de porteurs et de porteuses d'eau, venue des oasis du sud (principalement Biskra) assure l'acheminement de l'eau jusqu'aux portes des demeures. La cruche de 10 l est cédée à 10 Sous (Babzaman, 2015).

L'usage du robinet ne devient courant qu'à la fin du XIX^e siècle à la faveur de la distribution de l'eau sous pression (Devulder, 2000). Et c'est à ce moment là que naissent en France et ailleurs les premières sociétés de distribution d'eau (Générales des Eaux en 1853 et Lyonnaise des Eaux en 1880). Les adductions d'eau sont réalisées à partir des sources captées. A partir de 1880, les découvertes de Louis Pasteur vont bouleverser la notion de potabilité de l'eau, qui jusqu'à cette date n'est évaluée que grâce à sa couleur et son goût. Désormais, il ne suffit plus qu'une eau soit claire et courante pour être saine mais elle doit être exempte de bactéries pathogènes. De manière succincte l'eau est qualifiée de potable si sa consommation ne porte pas atteinte à la santé. Vers 1930, la distribution de l'eau à domicile était largement répandue mais il faut attendre les années 1980 pour que l'essentiel de la population française bénéficie de l'eau potable (Devulder, 2000). Le pourcentage de raccordement au réseau public d'eau, variable d'un pays à autre, devient un critère de satisfaction de l'approvisionnement quantitatif et qualitatif de l'eau.

2. L'eau du robinet

De nos jours, l'aspect qualitatif de l'eau a pris davantage d'importance et l'eau du robinet subit de sévères contrôles de qualité (63 paramètres sont examinés) avant d'être autorisée à la consommation. C'est l'aliment dit-on le plus contrôlé. L'eau distribuée par le réseau public, peut provenir d'une source ou d'un barrage réservoir ou même du mix des deux. Dans certaines villes, comme c'est le cas à Alger, l'eau potable est produite par dessalement de l'eau de mer, aboutissant à une eau parfaitement pure. Mais malgré cet effort colossal permettant d'aboutir à une eau complètement potable, les consommateurs se tournent progressivement vers ce nouveau mode de consommation (boisson) en optant pour la bouteille d'eau.

3. Le culte de la bouteille d'eau

Les prémices du culte de la bouteille d'eau remontent à cette époque de gratitude du thermalisme au XIX^e siècle quand les baigneurs redécouvrent les vertus thérapeutiques qu'il procure. En plus du bain, de l'eau est également consommée. Cela avait entraîné l'ébauche d'une industrie des eaux minérales en France dès 1838, avec le pionnier Auguste Saturnin Badoit qui embouteilla pour la première fois l'eau minérale de la source St Galmier et la commercialisa avec le label légendaire Eau Badoit, (De la Prade, 1778). L'eau thermale consommée a pris la réputation d'eau médicinale ou médicamenteuse, prescrite carrément par un médecin et vendue exclusivement en pharmacie. L'auteur De la Prade qui était le médecin du Roi Louis XVI, qualifie cette eau Badoit d'apéritive et exhilarante, autrement dit qui stimule l'humeur et l'esprit. En emballant l'eau de la source dans la bouteille, on a permis à chacun des consommateurs potentiels de bénéficier du 'thermalisme' à domicile. Badoit devient le précurseur minéralier en produisant 37 millions de bouteilles en 1958, la marque a rejoint le géant Danone en 1978 (<https://www.badoit.fr/badoit-histoire>).

D'autres investisseurs avaient aussitôt emboîté le pas et en 1863, Napoléon III avait signé le décret reconnaissant à l'eau de source de Bouillens (Perrier) le statut d'eau minérale naturelle (CSEM, 2008). En 1878 le Ministre de la santé français accorde l'autorisation d'embouteiller l'eau minérale d'Evian.

L'eau de source est consommée et appréciée depuis les temps immémoriaux, d'abord directement à la source puis après dans les bouteilles. Certaines sources sont gratifiées de potentialités bienfaitrices allant jusqu'à les sacrifier en leur dédiant des mentions paranormales. C'est le cas de la source de Quezac à qui on attribue une notoriété pour des vertus prétendument miraculeuses, elle attire annuellement une foule de pèlerins venue assouvir leurs dévotions (CSEM, 2008).

A travers ce bref aperçu historique sur l'usage domestique de l'eau, on apprend que l'eau de source était largement la principale pourvoyance, d'abord pour la fonction baignade sur place et ensuite l'eau est proposée au consommateur via la bouteille. Claire comme l'eau de roche (source) est un adage qui nous provient de cette époque si lointaine où la préférence était accordée à l'eau de source. C'est probablement l'un des arguments prétendument favorable aux minéraliers pour commercer de l'eau et bâtir leurs empires.

4. L'industrie de l'eau embouteillée

- Eau de source : définition

Une eau de source est une eau qui sort naturellement du sol, le point précis de sortie d'eau est l'exutoire d'une nappe ou source. Dans la plupart des cas, le débit d'eau à l'émergence de la source est variable, dépendant du rapport apports : pertes ou précipitations /débit de sortie et par conséquent la concentration minérale de l'eau est proportionnellement affectée. On désigne par exurgence, une émergence des seules infiltrations d'eau de pluie. En revanche, la résurgence est le retour en surface d'une rivière souterraine alimentée par un ou plusieurs cours d'eau à l'amont. L'eau de source provient exclusivement d'une nappe d'eau souterraine et plus la nappe est profonde, plus pure est son eau. En fonction des caractéristiques géologiques du sous sol, les eaux souterraines peuvent connaître de long temps de résidence allant jusqu'à des millénaires et s'imprègnent de l'empreinte

minéralogique du milieu. Ainsi chaque eau de source à son propre faciès, elle devient singulièrement un produit du terroir.

De nos jours, un regain de croyance parallèle à l'essor de la bouteille, est de retour et plusieurs citoyens n'hésitent pas à se rendre dans des contrées lointaines afin de bénéficier de l'indiscutable bénédiction des eaux de sources. Dans le constantinois, par exemple, les sources d'El Gourzi, ou celle d'Ain el Bey ou encore celle d'El Fedj ont acquis une solide réputation régionale. A l'instar des milliers de sources dans tout le pays, les unes ont la faveur d'être bénéfiques pour les calculs rénaux, les autres pour le colon nerveux et même celles qui débloquent l'infertilité. Bref, le répertoire de la bienfaisance et de la bénignité est long et diversifié.

En Algérie, on estime selon le MRE à l'APS en 2018, entre 5000 et 6000 sources répertoriées et leur contribution dans le raccordement au réseau d'eau potable des foyers ne dépasse pas 5%.

- L'eau de source : label

Les eaux de source se sont développées dans le sillage des eaux dites naturellement minérales, un label inventé par les pionniers minéraliers à la fin du XIX^e siècle. Cette distinction 'd'eau minérale ou de source', introduisant le doute sur la minéralité de l'eau du robinet, en la gratifiant d'un potentiel curatif. La définition formulée par les minéraliers eux-mêmes à ces catégories d'eaux est celle-là même adoptée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le Codex Alimentarius et autant par la réglementation algérienne (JO du 18 juillet 2004).

L'appellation eau de source, comme celle d'eau minérale naturelle est accordée à une eau exclusivement d'origine souterraine, microbiologiquement saine, préservée de la pollution d'origine humaine et apte à la consommation humaine sans traitement ni adjonction (sauf le dioxyde de carbone). Cependant sa composition n'est pas systématiquement stable comme celle de l'eau minérale naturelle.

Actuellement, il existe en Algérie environ une centaine d'exploitants minéraliers et autant de marques d'eau (minérale et de source) en Algérie. Par ailleurs, les eaux souterraines globales fournissent 63% à 96% de la demande globale en eau respectivement dans la région du nord et la région du sud (MRE, 2018). Plusieurs localités sont approvisionnées exclusivement en eaux souterraines.

- Engouement à l'eau embouteillée

L'engouement actuel dont bénéficient l'eau minérale et l'eau de source semble avoir un soubassement scolastique de l'époque grecque et romaine, préférant l'eau souterraine des sources à l'eau superficielle des rivières. Un vestige de l'illustre culte de l'eau guérissante et des fontaines de jouvence.

Le précieux liquide fait des émules et ce n'est qu'au début du XX^e siècle que se développe concrètement le marché des eaux embouteillées. Considérée initialement comme une eau de boisson traitante dans le prolongement de la cure, désignées et réservées à l'usage exclusif des malades, elle devient progressivement un produit diététique disponible au plus grand nombre de personnes. Sa consommation se développe alors chez les sujets sains, quittant les étalages des pharmacies pour achalander ceux des supermarchés.

Ce cosmopolitisme dont fait preuve cette nouvelle manière de l'homme contemporain de se désaltérer arrange agréablement aussi bien le consommateur que le producteur. C'est une aubaine pour les puissants minéraliers producteurs pour avoir monopolisé cette denrée (eau), à laquelle la vie est intimement suspendue. Le nombre de consommateurs est proportionnel aux bénéfiques. Le marketing se charge de ratisser large, la consommation de l'eau en bouteille vantait une certaine idée de la modernité et de l'épanouissement liés à une vie régaliennne, citadine, raffinée et saine. Cette tautologie est le secret ayant pu fidéliser un maximum d'usagers. Le succès de la marque Perrier par exemple est dû au snobisme de son marketing, qui depuis 1951 sponsorise le tour de France, le marathon de New York dès 1979 et le tournoi de Roland Garros dès 1980. Les grandes marques d'eau se bousculent pour la promotion des grands rassemblements sportifs de football et autres activités mondaines.

L'ère de la consommation fait que l'eau embouteillée, qu'elle soit minérale ou de source, est disponible partout et très peu d'usagers connaissent la différence pourtant très réglementée entre les deux types d'eau. En Algérie, il n'y a aucune différence au niveau des prix.

Est-ce réellement les soupçons sur les aspects qualitatifs de l'eau du robinet qui conduisent les citoyens à se convertir à l'eau embouteillée ou est-ce l'aspect thérapeutique que cette dernière traîne qui force le choix ? Est-ce enfin juste un phénomène de mode et d'émulation 'sine nobiliate' en raison de sa disponibilité et de la facilité de s'en procurer ?

Naguère qualifiée d'eau des malades, puis d'eau des monarchies et oligarchies, elle ensorcelle davantage de consommateurs. De remède autrefois supposé spécifique et distribué à ce titre en pharmacie sur prescription médicale, les eaux dites minérales sont devenues un produit de large consommation, utilisées assez souvent sans discernement. Les eaux embouteillées ne sont plus synonyme de solennité mais le simple citoyen prend goût et consomme sans se soucier des informations sur l'étiquette. Très peu de consommateurs s'informent du contenu

des étiquettes et de la très discrète date de péremption. Un fétichisme qui plonge ses racines dans l'histoire légendaire des sources d'eau.

L'histoire de l'eau embouteillée est assez passionnante notamment au regard des enjeux qui animent son marché, sa croissance et ses impacts hydrogéologiques et environnementaux.

5. Les maîtres du marché de l'eau

Le marché de l'eau d'une manière générale comme celui de l'énergie peut être qualifié d'oligopole, caractérisé par une offre d'eau très limitée opposé à un nombre important de consommateurs. Ce marché est essentiellement dominé par une dizaine d'entreprises. Parmi elles, les trois plus grosses transnationales : les françaises Suez et Veolia et l'allemande RWE-AG. Elles fournissent de l'eau à plus de 300 millions d'habitants, dans près de 100 pays et partagent l'enjeu d'alimenter en eau l'ensemble de la planète avec d'autres transnationales comme Bouygues SAUR (France), Thames Water (Angleterre) et Bechtel United utilities (USA) (Wilk, 2006). La croissance de ces entreprises affiche une allure exponentielle sachant que l'eau représente aujourd'hui la troisième plus grande industrie mondiale après le pétrole et l'électricité.

Le segment de l'eau embouteillée dans ce marché est le plus important, évalué à 185 milliards USD en 2018 et à 217,66 milliards USD en 2020, soit une croissance de 17% (Wilk, 2006). Actuellement, ce marché est principalement dominé par quatre entreprises mères, qui par conséquent gèrent les marques les plus vendues au monde : Nestlé (Pure Life), Coca-Cola (Dasani), Danone (Aqua, Evian) et Pepsi Cola (Aquaфина), Yang Sheng Tang, China Resources holding.

Le marché français est détenu par des groupes tels Danone, Nestlé, Ogeu et Alma. Celui d'Algérie est animé essentiellement par les marques Ifri, Guedilla, Saïda et Nestlé. Toutes ces entreprises dédiées au commerce de l'eau embouteillée assurent une consommation qui a évolué crescendo ces dernières années.

6. La consommation d'eau minérale

La consommation mondiale d'eau en bouteille a dépassé, selon (IBWA, 2018), 450 milliards de litres en 2018, avec une croissance annuellement de 5,4%. La consommation moyenne individuelle est de 63 litres/an, réalisant un saut de 14 litres sur une période de cinq ans. Les citoyens mexicains ainsi que thaïlandais sont ceux qui consomment le plus avec environ 275 l/an/individu. Alors qu'à l'échelle de l'Union Européenne, les italiens occupent le haut du tableau avec (200 l/an) à l'opposé des Suisses avec moins de 100 l/an. Les français consomment 145 l, les algériens 63 l totalisant 2,7 milliards de litres selon l'APAB.

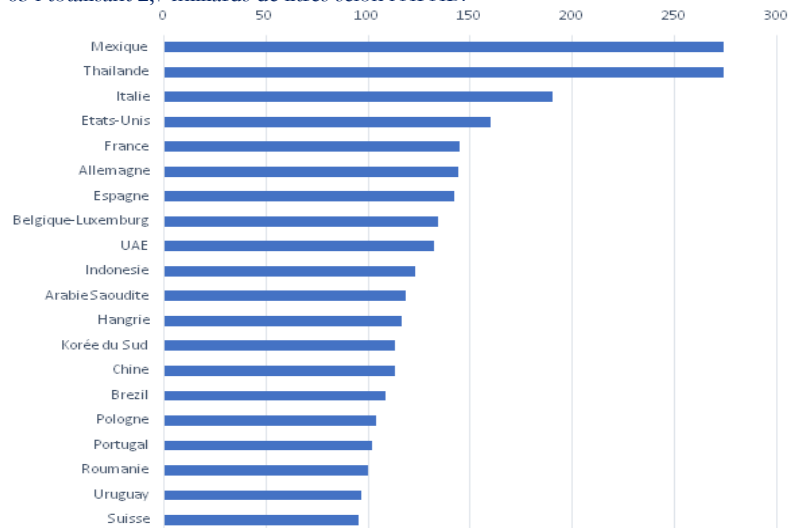


Figure 1. Consommation d'eau en bouteille (l/hab) dans quelques pays d'Europe (IBWA, 2018)

Le consommateur est surtout séduit par l'image que l'eau en bouteille renvoie, celle d'une nette transparence synonyme de pureté. En plus, il trouve que l'eau est de meilleur goût et surtout meilleure à sa santé. Cette eau considère-t-il est apte à lui apporter ce qu'il ne trouve pas dans celle qui coule en abondance, presque gratuitement, de son robinet. Mais l'avantage le plus fort est celui de la disponibilité de toutes parts de la bouteille d'eau. Elle est

devenue tel un robinet individualisé, ambulante et tout près de la bouche, semblable à un biberon qui étanche ad libitum la soif.

L'argument sanitaire de l'eau embouteillée constitue la trame de ses atouts. Est-ce juste une mesure de précaution ou réellement l'impact sur la santé du consommateur est avéré ?

7. L'eau minérale et la santé !

Dans la nature, il est extrêmement rare de trouver une eau pure, elle est constamment associée aux minéraux. L'eau et les minéraux forment un tandem vital pour notre organisme. L'eau est donc naturellement minérale, au sens chimique. Par ailleurs, la teneur des ions fait distinguer une large gamme de qualité d'eau (bicarbonatées, sulfatées, sulfurées, chlorurées...). Les sels minéraux sont indispensables à l'organisme humain et constituent environ 4% de sa masse (Vidal, 2008). Contrairement aux vitamines, ils ne sont pas synthétisés par l'organisme et sont essentiels à sa composition et à son fonctionnement. On les trouve dans les tissus (os, dents...), les enzymes et les hormones et assurent par ailleurs le contrôle de l'équilibre hydrique (pression osmotique), régulent l'équilibre acide-base (pH) et catalysent de nombreuses réactions du métabolisme (UMVF, 2011).

Certains minéraux dits majeurs comme le calcium, le magnésium, le potassium, le phosphore, le soufre, le sodium et le chlore sont indispensables à l'organisme en quantité relativement élevée, totalisant jusqu'à 10 g/j, alors qu'une douzaine d'autres éléments ne sont tolérés qu'en infimes quantités : les oligoéléments (tab. 1). Ces derniers représentent ensemble moins de 15 g de la masse corporelle totale (Vidal, 2008). On en dénombre 15 au total, dont principalement : le fer, le zinc, le cuivre, le fluor, l'iode, le chrome et le sélénium.

Tableau 1. Les besoins quotidiens recommandés en minéraux pour l'organisme humain

Minéraux	Besoins (mg/j)	Minéraux	Besoins (mg/j)
Calcium	1200,0	Magnésium	420,0
Chlorure	2000,0	Manganèse	2,300
Chrome	0,0300	Molybdène	0,045
Cuivre	0,9000	Phosphore	700,0
Cobalt	0,0015	Potassium	3400
Fluorure	4,0000	Sélénium	0,055
Fer	8,0000	Sodium	1500
Iode	0,1500	Zinc	11,00

Source : <http://hsph.harvard.edu/nutritionsource>

Le plus important des ions est le potassium, son rôle est crucial dans la vie cellulaire, le calcium quant à lui assure la structure osseuse et catalyse les réactions enzymatiques. Il est largement répandu dans l'environnement et les eaux, mais rarement présent dans l'eau à des niveaux qui pourraient présenter un risque pour la santé humaine (Queneau et Hubert, 2006).

L'apport d'eau assure l'homéothermie et l'homéostasie minérale caractéristiques de l'organisme. Le corps humain est programmé pour ne pas manquer d'eau et à sauvegarder un équilibre hydrique évoluant dans d'étroites limites. L'homéostasie de l'eau, étroitement liée à l'homéostasie des électrolytes (sels) est une adaptation exclusive des sorties aux entrées.

L'eau ingérée est absorbée principalement dans l'intestin grêle et apparaît dans les plasmocytes et les cellules sanguines en seulement cinq minutes après son ingestion. Le transit vers l'intérieur de la cellule obéit au contrôle membranaire, en l'occurrence très sélectif. Ce transit est assuré grâce à la diffusion facilitée qui concerne des molécules de grandes tailles et non liposolubles (Bœuf, 2012). C'est le cas de l'eau (H₂O), du glucose, du saccharose, des acides aminés, des protéines et surtout des ions (H⁺, Na⁺, HCO₃⁻, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻, Mg²⁺). Or la diffusion facilitée exige une protéine spécifique (métalloprotéine).

Le passage exclusif de l'eau (H₂O), de part et d'autre de la membrane se fait via des canaux membranaires spécifiques : les aquaporines (Bœuf, 2012). Ils sont perméables à l'eau mais pas aux solutés. Le gradient de salinité permet à l'eau de se déplacer, grâce au phénomène de l'osmose, du milieu hypertonique vers le milieu hypotonique. L'organisme humain est hétérotrophe, et ne peut dit-on s'alimenter directement de la matière minérale. Ainsi, les minéraux totalement libres ne peuvent traverser singulièrement la paroi intestinale. Pour être assimilés, ils doivent être chélatés, c'est-à-dire liés à divers types de transporteurs (acides aminés et vitamines) : le chélate, un produit biodisponible et indispensable au passage (Wynckel et al., 2017). Cependant, le mécanisme de l'absorption varie en fonction de la forme de l'ion et se conforme soit de la diffusion simple, soit du transport actif ou du transport passif par transporteur protéique.

L'absorption des minéraux contenus dans l'eau minérale ne fait pas l'unanimité des scientifiques. Cet aspect reste un peu flou, ballotté entre deux thèses opposées. Pour (Wynckel et al., 1997) utilisant la technique du marquage radioactif, le calcium contenu dans les eaux minérales participe à peine à hauteur de 30% de l'apport global du calcium. Ceci est corroboré par Vincent in Cannenpasse et Danze (2014) et sa notion révolutionnaire de bioélectronique, qui lui permet d'affirmer que les minéraux contenus dans les eaux minérales sont inassimilables car souvent sous forme de sulfates, de carbonates, de phosphates et de bicarbonates, très peu compatibles avec le milieu physiologique. L'auteur ajoute que les besoins en minéraux sont surtout apportés par l'alimentation (légumes et fruits) quotidienne. Pour Vincent, la meilleure eau est celle de faible minéralité et donc d'une grande résistivité, l'eau de boisson ne devrait pas contenir plus de 200 mg/l de minéraux et idéalement moins de 50 mg/l. Cependant, les spécialistes recommandent un total de résidu sec (RS), en dessous de 100 mg/l. Rien n'apparaît par contre à ce sujet dans les directives européennes ou algériennes, comme s'il fallait taire cet aspect et ne pas remettre en cause l'excès de minéralité de la grande majorité des eaux minérales ou de source dont le RS dépasse les 500 mg/l.

Dans le cas des eaux de 32 sources algériennes commercialisées et étudiées, la totalité des eaux affichent une minéralité totale traduite par le RS (mg/l), celles ayant le RS le plus élevé (>700) sont : Taya (941), Soumam (755), Ariaf (750), Aowis (724). A l'opposé celles ayant une faible RS (<300) : Ayris (276), Ighzer (275), (Besbessa (206), Ain Bouglez (140) et Reghia (100). Il convient de signaler que si le RS est supérieur à 1500, l'eau a une minéralité très élevée et est qualifiée de très richement minéralisée. Entre 500 et 1500, l'eau est dite riche, donc à éviter, si le RS <500 elle est faiblement minéralisée, à consommer avec précaution et si le RS <50 elle est très faiblement minéralisée, c'est l'idéal. C'est le cas de l'eau désionisée ou celle issue d'un osmoseur. Cependant, dans la théorie, ces valeurs devraient changer étant donné que la minéralité des eaux de sources est par définition variable !

En matière de minéralité singulière, les sources ayant une teneur élevée en calcium (mg/l) sont : Sidi Rached (134), Soumam (114), Melez (111), Kniaa (111) et El Ghedir (111). Ces valeurs sont inférieures à 150 mg/l, ces eaux ne présentent aucune tendance calcique. Les teneurs en sodium (mg/l) les plus élevées sont celles de Kniaa (48), Arwa (56), Ouwis (60) et Ariaf (96). Ces concentrations sont toutes inférieures à 200 mg/l, les eaux sont loin du caractère sodique. C'est le même cas pour le magnésium, Moughel (35), Ariaf (32) et Kniaa (26) dont les teneurs sont largement au dessous de la valeur guide de 50 mg/l. les autres minéraux comme le fer, le fluor et les bicarbonates ne sont pas portés sur les étiquettes appropriées.

Au vu de ces teneurs, on constate que les apports en minéraux relatifs à l'utilisation de ces eaux dans la boisson sont largement insignifiants par rapport aux besoins de l'organisme humain. A titre d'exemple, si on considère les besoins humains en calcium (1200 mg/j), boire 1 l/j de l'eau de source "Sidi Rached" n'apporte que 134 mg de calcium, soit 11,6% des besoins quotidiens, et combler ces derniers cela requière environ 18 l d'eau. Cet exemple, altère implacablement l'argument sanitaire relatif à l'eau minérale, ajouté à cela la durée de stockage de l'eau dans les bouteilles et notamment la plausibilité de contamination avec le plastique de la bouteille.

L'eau consommée se limite à un pouvoir de nettoyant et de détoxiquant, doit-on comprendre, un pouvoir d'autant plus efficace que l'eau est moins minéralisée. L'eau de boisson est surtout nécessaire pour ce qu'elle emporte que pour ce qu'elle apporte.

Cette tendance est clairement explicitée par l'OMS (2017), qui indique qu'il n'existe à l'heure actuelle aucune preuve scientifique valable des effets positifs de ces eaux minérales. Bien que certaines eaux minérales puissent être utiles pour fournir des micronutriments essentiels, tels que le calcium et le magnésium, les directives OMS ne font pas de recommandations concernant des concentrations minimales d'éléments essentiels en raison des incertitudes relatives à l'apport minéral de l'eau de boisson.

Autres inconvénients

D'autres arguments aussi forts les uns que les autres jettent l'anathème sur le créneau de l'eau embouteillée. Consommer une eau gracieusement présentée dans son contenant plastique est agréablement satisfaisant pour le consommateur et surtout pour le producteur. Cependant, cette commodité disparaît en révélant l'astronomique

écart du coût que cela engendre relativement à l'usage de l'eau du robinet. La bouteille d'eau de source est vendue en Algérie à raison de 40 DA (2 € Euros), contre 6 DA le m³ pour l'eau du robinet. L'eau embouteillée est 4500 fois plus chère. A raison de 1 bouteille par jour, le consommateur doit déboursier 14 600 DA (730€) l'année. Au restaurant, il faut doubler la facture. Le coût peut grimper très haut en fonction de l'emballage et de la provenance de l'eau. En France, la bouteille de 1,5 l coûte en moyenne 0,7 € alors qu'en Suisse elle coûte 1,22 € et 3,8 € au Japon.

L'engouement de la consommation de l'eau embouteillée est auréolé par l'émergence de bars à eau qui enregistrent de vifs succès dans les métropoles occidentales. On y propose une gamme très variée d'eau embouteillée (l'eau volcanique du Mont Fuji, l'eau fossile des icebergs, Black Detox Water, l'eau aromatisée...). Les contenants sont aussi variés et jouissent d'opulentes bouteilles très exotiques. L'eau Aqua di Cristallo est l'exemple le plus exubérant, cette eau est un mélange de l'eau volcanique artésienne du Mont Fuji et d'eau de glacier d'Islande et d'eau de France coûte 60 000 \$ US la bouteille de 760 ml en or massif 24 carats. L'eau de source de Fuji qui s'enorgueillit comme la plus pure du monde, est vendue partout dans les villes européennes. Son empreinte carbone est d'autant plus élevée que les milliers de km parcourus depuis sa source, au large de l'Australie.

L'eau de source artésienne des îles Lofoten (Norvège) avec seulement un résidu sec de 30 mg/l est vendue à 75 €/l. Mais c'est au Japon qu'on trouve une carte très variée et excessivement onéreuse : l'eau Super Nariwa est commercialisée à 9000 € le litre, l'eau Kona Nigari est cédée à 350 € et l'eau du Mont Rokko à 190 € la bouteille de 750 ml.

En Algérie, le prix de l'eau de source est étonnement aligné sur celui de l'eau minérale. On trouve moult marques et l'eau Perrier vaut 500 DA/l. Si on considère que toute la population algérienne consomme de l'eau embouteillée, cela nécessiterait environ 46 millions de bouteilles par jour et 16 790 millions par an, soit 25 185 millions de litres. Le débit global d'exploitation des gisements souterrains (eau minérale et eau de source) en Algérie, révélé par le Ministère des ressources en eau, est de 699 l/s, soit 60394 m³/j (APS, 2019), de quoi couvrir largement la totalité des besoins susdits. Un chiffre qui dépasse largement celui évoqué plus haut par l'association (APAB). Ce débit englobe 71 concessions d'eau de source et 26 d'eau minérale et correspond à environ 40 millions de bouteilles.

Les eaux embouteillées sont exclusivement souterraines et le rythme de développement de ce créneau augure d'une exploitation accrue des ressources souterraines. Dans le cas d'une monopolisation totale de cette ressource, les conséquences seront désastreuses tant sur les plans social, économique et environnemental. Les puits, les sources d'eau naturelles, les rivières vont se tarir progressivement et le consommateur sera de plus en plus contraint à acheter cette eau embouteillée. En conséquence, les modestes budgets vont compatir et les pauvres gens vont durement souffrir. Le droit élémentaire d'accès à l'eau potable se dissoudra à jamais.

L'autre enquinement induit par la consommation de l'eau embouteillée réside dans l'énorme quantité de déchets générée. En plus de la charge polluante sur les terres fermes, la plupart du plastique rejeté converge en mer formant d'énormes zones d'accumulation en forme de vortex baptisées ironiquement 'le 7ème continent'. Celui découvert dans l'océan pacifique nord s'étend sur une superficie de 3,5 millions de km² et sur 30 m de profondeur. Dans ces vortex, on enregistre des concentrations de 5 kg de plastique par km² (Laure de Matos et Fonteneau, 2018)

En plus de cette absurdité écologique, la production d'une tonne de PET dégage 3 tonnes de CO₂, et l'embouteillage à lui seul génère 2,5 tonnes de CO₂, (Wilk, 2006). Il faut en effet, 100 ml de pétrole pour produire une seule bouteille. En plus de l'énergie nécessaire, le PET consomme de l'eau (empreinte d'eau) sachant qu'un kg de PET exige 17,5 kg d'eau, alors qu'un litre d'eau minérale exige pour sa production 3 litres d'eau potable et 0,25 litre de pétrole.

L'incroyable prospérité du marché de l'eau embouteillée où la France est le premier exportateur, pose d'inextricables problèmes et interrogations et sème déjà d'énormes stigmates d'inégalité et de pollution pour la postérité. Et c'est à ces égards que cette activité trébuche dans une perspective non viable et non durable. Dans ce contexte, l'eau est perçue comme un objet dont la valeur est directement spéculative sur les bourses financières. Et c'est pendant les épisodes de grande sécheresse et de grave stress hydrique que sont enregistrées les bonnes affaires pour les minéraliers. L'eau de source devient de l'or bleu malmenant sournoisement le droit humain fondamental à l'accès à l'eau potable, reconnu depuis 2010.

CONCLUSION

L'exploitation de l'eau dite minérale qui s'est inscrite naguère comme un produit thérapeutique prescrite accessoirement pour les malades s'est intronisée graduellement pour devenir un produit habituel de large consommation. Ce cosmopolitisme s'est naturellement développé au gré de l'orthodoxie libérale de la grande la consommation. Sachant que la consommation des eaux embouteillées est en nette croissance que ce soit dans le

monde ou en Algérie. L'ennui, c'est que l'eau est un produit pas comme les autres, c'est une quintessence nécessaire à la vie, au même titre que l'oxygène, et ne peut donc être monopolisée et vendue qu'à ceux qui disposent d'assez de pécule. Le droit à l'eau est un droit élémentaire égal au droit à la vie. Le fétichisme relatif à l'eau embouteillée qui s'appuie sur l'utilité des minéraux à l'organisme humain a été un argument scientifiquement irrecevable y compris par l'OMS. La surexploitation des ressources naturelles en eaux souterraines conduit impérativement au tarissement des nappes aux conséquences inattendues. L'utilisation des eaux embouteillées est aussi un défi concurrent à l'eau publique de robinet distribuée à un prix soutenu et une qualité avérée. Et la plus grave des conséquences de ce cosmopolitisme, est la pollution diffuse que génère le plastique des bouteilles.

Références

1. Constance de Font-Reaulx (2023). Du porteur au consommateur d'eau. revue histoire et mesure. XXXIV-2/2019
2. Devulder L. (2000). Les usages de l'eau au cours de l'histoire. ENSSIB, 38P.
3. CSEM (2008). Livre blanc de l'eau minérale naturelle. Chambre syndicale des eaux minérales, Fr, 45P.
4. De la Prade M.R. (1778). Analyse et vertus des eaux minérales du Forez et de quelques autres sources. <https://gallica.bnf.fr>
5. Babzaman (2015). Les porteurs d'eau à Alger entre XVI^e et XIX^es.
6. <http://babzaman.com>
7. ONU (2022). Population. <https://www.un.org/fr/global-issues/population>
8. MRE. (2018). Déclaration du Ministre des ressources en eau, Algérie à l'APS.
9. Vidal (2008). Les sels minéraux et les oligoéléments. Guide de l'alimentation équilibrée, vidal.fr/santé/nutrition.
10. APAB (2022). Rapport annuel. Association des Producteurs Algériens de Boisson. <http://apab-algerie.org>
11. IBWA, (2018). International bottled water association. <https://bottledwater.org/>
12. Queneau P., Hubert J. (2006). Place des eaux minérales dans l'alimentation. Bull. Acad. Nle Med., 190, n° 8.
13. Bœuf G. (2012). L'eau une molécule clé pour le vivant et la biodiversité. Colloque de l'Orme du 19/01/2012, Université Pierre et Marie Curie, CNRS, Paris
14. Wynckel A., Hanrotel C., Wuillai A., Chanard J. (2017). Intestinal calcium absorption from mineral water. Mineral and Electrolyte Metabolism, 01 Jan 1997, 23(2):88-92.
15. Cannenpasse-Riffard R., Danze J.M. (2014). Principe de la bioelectronique de L.C. Vincent.
16. OMS (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson, 4e ed OMS. 564p.
17. APS (2019). Déclaration du ministre algérien des ressources en eau. Agence Presse Service, Alger.
18. Laure de Matos et A. Fonteneau (2018). Le 7eme continent : un monstre en plastique. <https://information.tv5monde.com/info/le-7eme-continent-un-monstre-de-plastique>
19. Wilk R. (2006). Bottled water: the pure commodity in the age of branding. Journal of consumer culture, 6(3):304-325.
20. UMVF (2011). Les oligoéléments, la liaison métal protéine. Support de cours. Pdf, Université médicale virtuelle francophone.
21. <http://hsph.harvard.edu/nutritionsource>
22. <https://www.badoit.fr/badoit-histoire>.

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

Ibrahima Touré¹, Mamadou Sarr², Issa Leye¹, Soussou Sambou¹,

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

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

Résumé

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

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

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

Abstract:

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

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

¹ Corresponding author: panoya83@yahoo.fr

INTRODUCTION

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

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

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

Matériel et Méthodes :

Zone d'étude

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

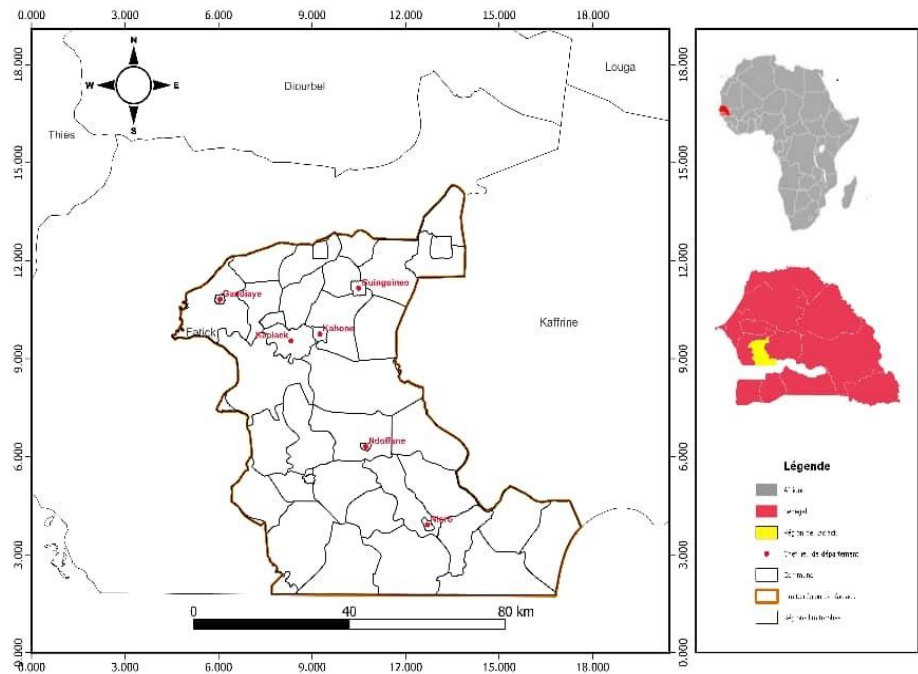


Figure1 : localisation de la zone d'étude

Données climatiques

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

Méthodologie :

Indice Standardisé de précipitation (SPI) :

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

En plus l'indice SPI sur 3 mois renseigne sur les conditions d'humidité à courte et moyenne termes et une estimation des précipitations sur une saison.

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

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

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

Tableau 1 : classification des valeurs de SPI

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

Les indices climatiques extrêmes

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

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

Séquences froides (CSDI)

– Séquences chaudes (WSDI)

– Séquences de jours secs consécutifs (CDD)

– Séquences de jours de pluie consécutifs (CWD)

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

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

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

Les paramètres d'entrée de RCLimDex sont:

- la première et la dernière année de la période de base;
- la latitude de la station
- le seuil haut et bas des précipitations journalières P (mm)
- le maximum et le minimum de la température maximale journalière ; et le maximum et le minimum de la température minimale journalière. Enfin, les données de sortie sont stockées sous forme de fichiers Excel et de fichiers JPEG pour les graphiques.

Modélisation à 3D

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

Analyse fréquentielle des précipitations maximales journalières

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

But de l'analyse

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

Technique de traitement des données

L'analyse fréquentielle demeure l'un des outils pour estimer l'ampleur de l'évènement x_T auquel est associé une période de retour T (quantile de période de retour ou de probabilités au dépassement $f = 1/T$). L'estimation x_T de la valeur du quantile s'obtient en ajustant une loi de probabilité $P(x; \theta)$ à un échantillon de n observations avec $x = \{x_1 \dots x_n\}$ et θ symbolise le vecteur de paramètres associé à la distribution de probabilité de P. Ainsi, pour déterminer la probabilité d'apparition de ces événements extrêmes (précipitations maximales journalières) un échantillonnage des précipitations journalières est nécessaire pour obtenir les valeurs maximales. La série de données est ensuite soumise à un contrôle de qualité et de représentativité. Pour vérifier la validité des résultats de l'analyse fréquentielle, les données utilisées doivent respecter certaines hypothèses de base. En effet, les données

doivent être indépendantes, homogènes et stationnaires. Ainsi les valeurs maximales des extrêmes pluviométriques ainsi extraites sont soumises au test d'homogénéité de Pettitt [20], de l'ellipse de Bois, de stationnarité de Kendall [21], d'indépendance par l'analyse des autocorrélogrammes, le test de corrélation des rangs de Kendall [22].

Choix du modèle fréquentiel

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

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

Les paramètres dont dépendent cette loi sont :

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

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

Résultats et discussion

Résultats des indices standardisés de précipitation

L'analyse de l'évolution de l'indice pluviométrique standardisé de la station de Kaolack (Figure 2) laisse apparaître une alternance de séquences sèches et humides pour toutes les échelles de temps. Toutefois ces séquences sont plus prononcées à moyen terme (12 mois) et à long terme (24 mois). A court terme (3mois et 6mois), l'indice pluviométrique standardisé illustre des fréquences de sécheresse extrêmement sévères très faibles (0.3%) et une prédominance des période modérément humides (6%) et modérément sèches (6%) de manière continue sur la période d'étude (Fig. 2a et Fig. 2b). Ceci semble paradoxale au regard des autres échelles de temps. Ainsi, l'échelle à court terme n'est pas appropriée pour quantifier la sécheresse. Par ailleurs, l'étude de cet indice (ISP) à moyen et long terme indique cinq périodes qui s'alternent (Fig.2c et Fig.2d). Il peut être noté une période humide de 1960 à 1967 suivie d'une période sèche de 1967 à 1980 puis d'une autre période humide allant de 1980 à 1993. Enfin, respectivement une période sèche et une période humide sont notées de 1993 à 2007 et de 2007 à 2013. Pour le long terme (24 mois), les années modérément sèches se situent de 1993 à 1999 puis de 2004 à 2006. La sécheresse débute en 1967 pour toutes les échelles de temps et dont l'extrême sévérité apparaît en 1972 avec un pic inférieur à -2. En effet, cette baisse des précipitations a été déjà souligné dans plusieurs travaux notamment ceux de [24] pour des échelles de temps 5ans, 25 ans et 50 ans au Sénégal. Cependant la fin des années 2000 coïncide avec une augmentation du volume des précipitations dans tous les échelles de temps. C'est pourquoi le début de la décennie 2000 est caractérisé par un regain des conditions humides et une variabilité des précipitations [25].

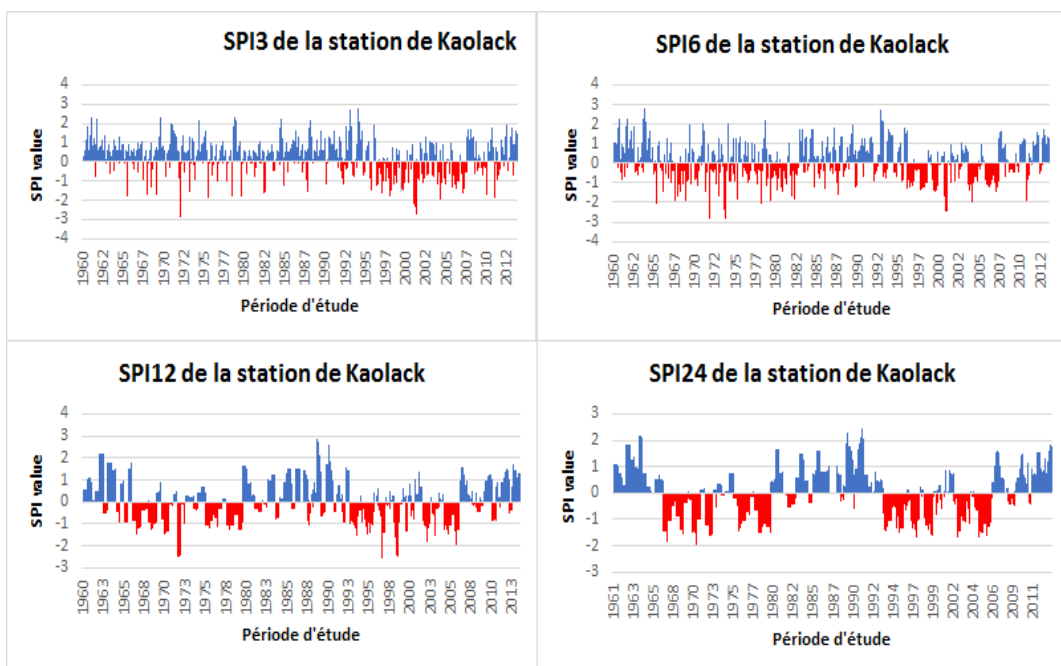


Figure 2 : Indice Standardisé des Précipitations de la station de Kaolack à différentes échelles de temps

Résultats des indices extrêmes climatiques :

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

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

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

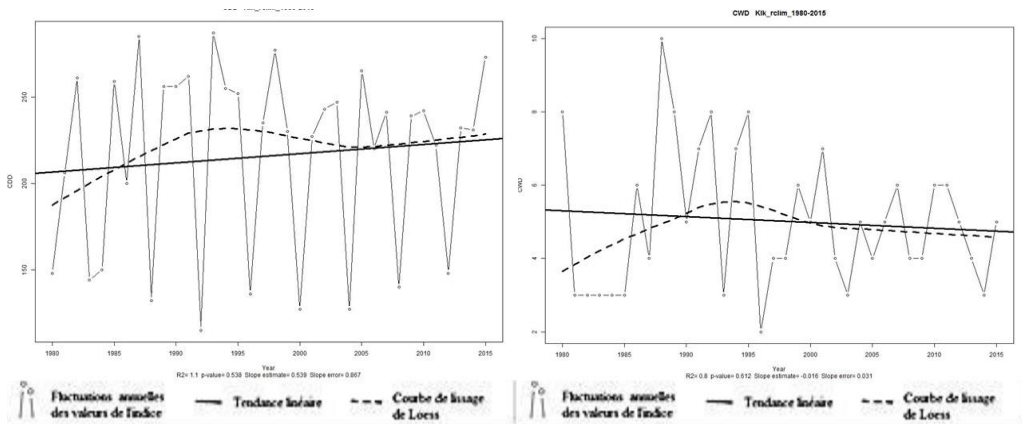


Figure 3 : Evolution annuelle et tendance linéaire des valeurs des indices climatiques (CDD et CWD)

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

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

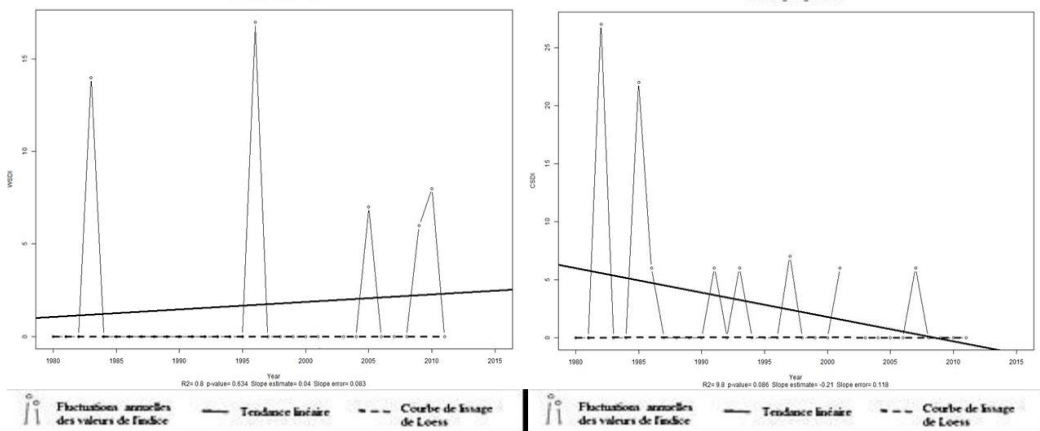


Figure 4 : Evolution annuelle et tendance linéaire des valeurs des indices climatiques (WSDI et CSDI)

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

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

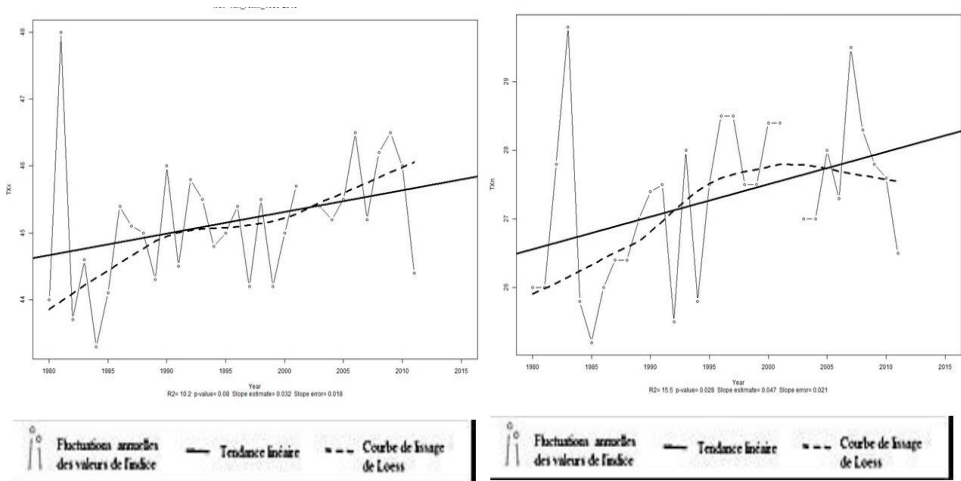


Figure 5 : Evolution annuelle et tendance linéaire des valeurs des indices climatiques (TXx et TXn)

Synthèse de l'évolution des tendances des indices climatiques extrêmes

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

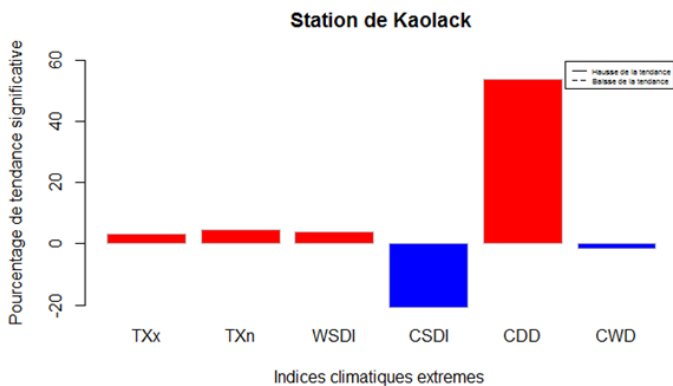


Figure 6 : Représentation récapitulative des tendances dans les indices climatiques extrêmes

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

De l'analyse de la répartition spatio-temporelle des précipitations maximales à l'échelle mensuelle (Figure 7), il résulte que la saison des pluies s'étend de juin à septembre avec un pic aux mois d'août et septembre. Ce comportement climatique est fréquent dans les régions soudano-sahéliennes. De plus, l'évolution des précipitations entre 2001 et 2008 montre une hausse de volume de 8% au mois d'août suivie d'une baisse de 18% au mois de

septembre. Par contre, une inversion de tendance semble se dessiner pour le second septennat (2008-2015). En effet, plus de la moitié des pluies (51%) est mesurée au mois de septembre avec un début de plus en plus tardif de la période hivernale (juillet). Ces résultats vont en droite ligne avec les études de [28]. Selon eux, les données satellitaires indiquent que le début tardif de l'hivernage dans la zone soudano-sahélienne se situe entre le 19 juin et 29 juillet avec une forte variabilité interannuelle.

Evolution des précipitations maximales mensuelles en 2001

Evolution des précipitations maximales mensuelles en 2008

Evolution des précipitations maximales mensuelles en 2015

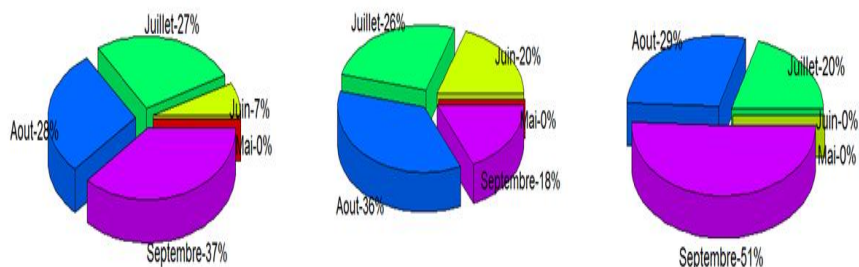


Figure 7 : Répartition des précipitations maximales mensuelles par septennat de 2001 à 2015

Modélisation à 3Dimensions de la variation de la température en fonction de la spatialisation des précipitations journalières de la station de Kaolack

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

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

Années	Station de Kaolack
--------	--------------------

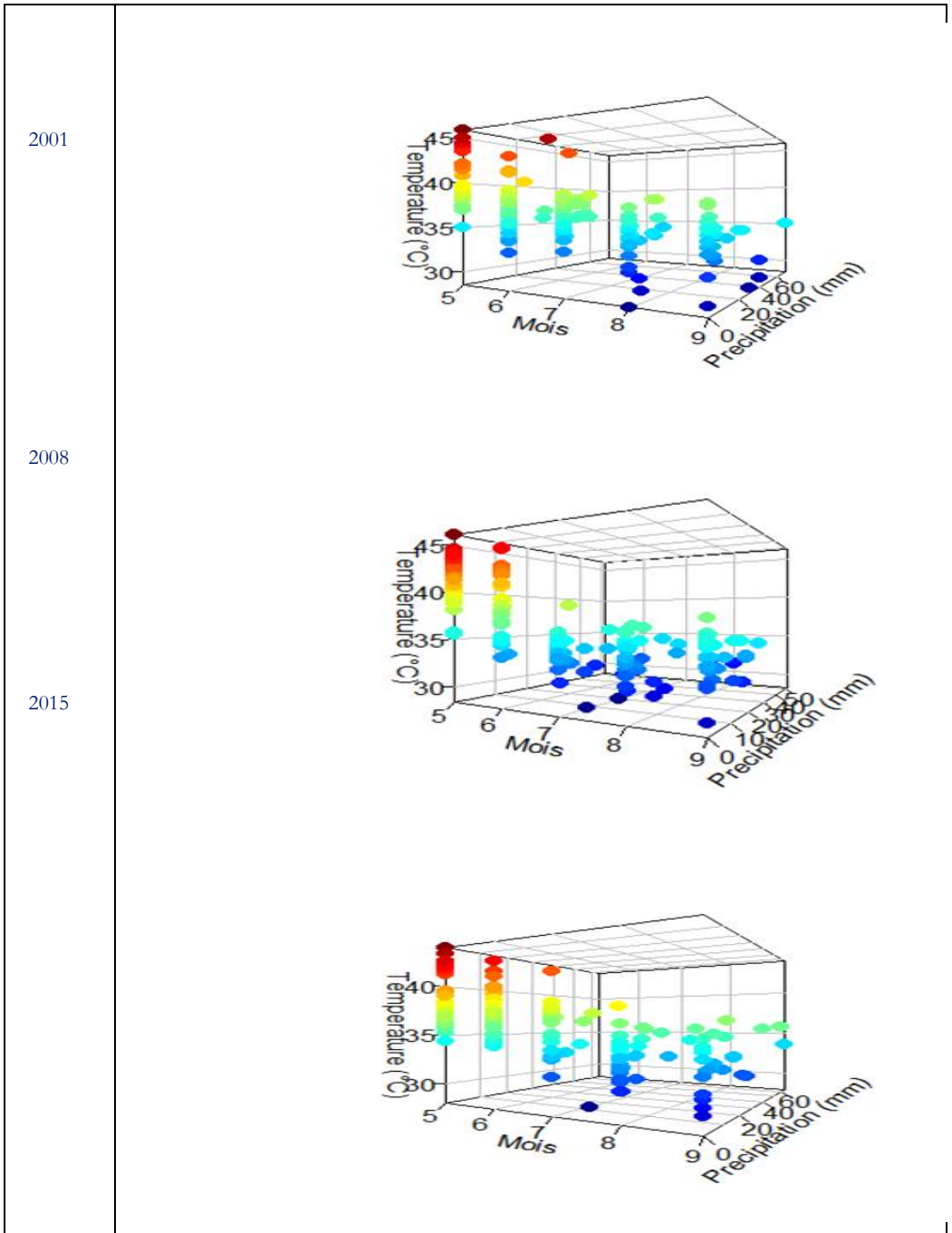


Figure 8 : visualisation à 3D de la précipitation journalière et de la température de la station de Kaolack

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

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

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

L'analyse de l'autocorrélogramme au niveau de signification $\alpha = 0.05$ fait ressortir des points figuratifs à l'intérieur de tous les intervalles de confiance, ce qui permet d'illustrer le caractère indépendant de la série (Fig. 9c). Dans la même lancée, les résultats du test de corrélation des rangs indiquent que l'hypothèse nulle (H_0 : la série est aléatoire) est acceptée à tous les seuils de confiance. Cependant, les résidus et l'ellipse de Bois montrent que l'hypothèse nulle (H_0 : la série est homogène) est acceptée pour la station de Kaolack (Fig. 9d). En effet, tous les points figuratifs se trouvent à l'intérieur de l'ellipse. Ces résultats sont confirmés par la tendance linéaire de l'évolution interannuelle des précipitations maximales journalières (Fig. 9a). Par ailleurs, le test de Segmentation de la série à l'ordre 1 (Fig. 9b) met en évidence une stationnarité de la moyenne pour la période d'étude, ce qui caractérise davantage l'homogénéité de la série de pluies maximales journalières. De plus, les résultats du test de Mann Kendall confirment une absence de tendance significative (Tableau 3) à Kaolack. En sus, les précipitations maximales journalières à Kaolack sont indépendantes, homogènes et stationnaires, par voie de conséquence elles peuvent faire l'objet d'un ajustement par la loi GEV.

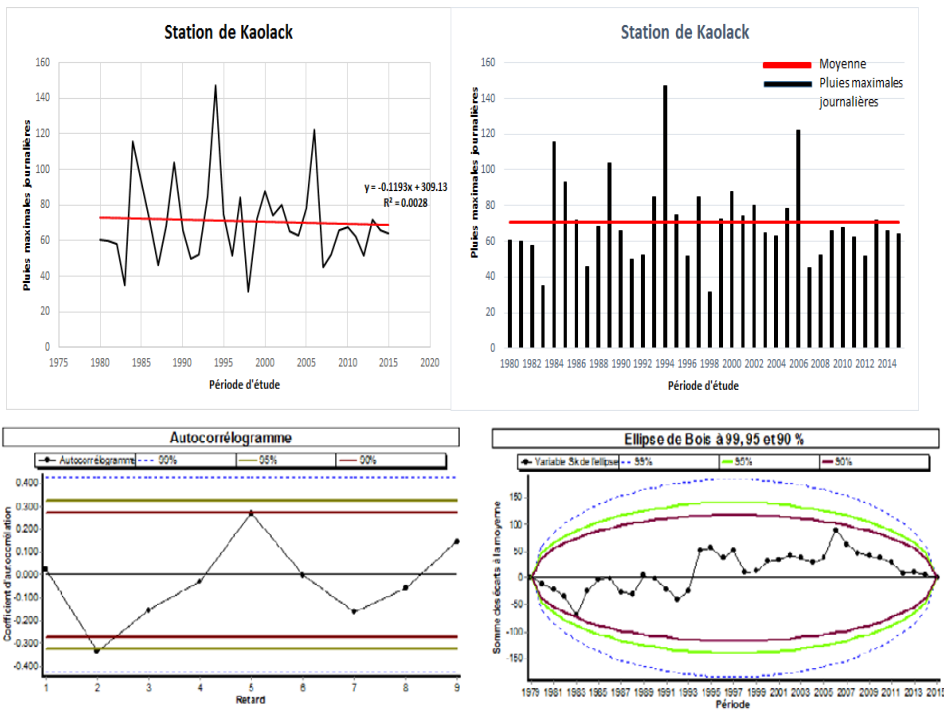


Figure 9 : a. évolution interannuelle des pluies maximales journalières
 c. Autocorrélogramme des pluies maximales

b. Test de Segmentation de Hubert
 d. Test de cumul des résidus : ellipse de Bois

Tableau 3 : résultat du test de Mann Kendall pour l'ajustement des pluies maximales journalières

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

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

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

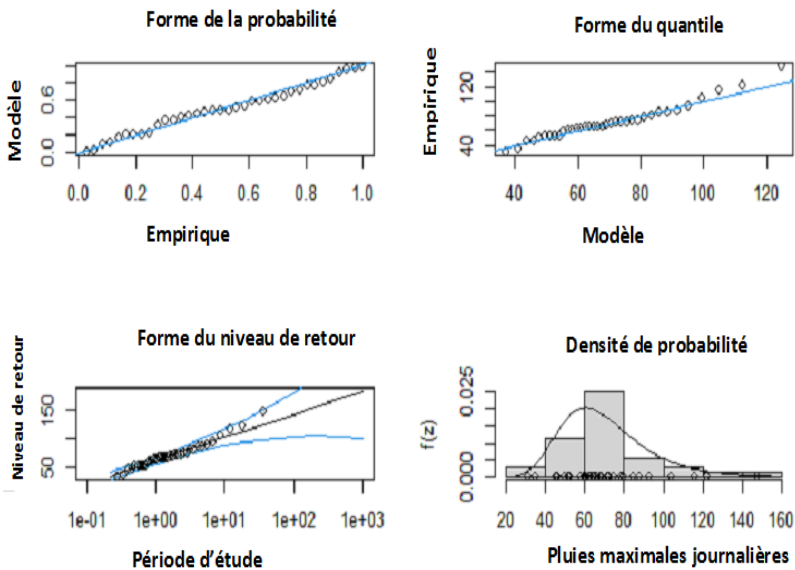


Figure 10 : (a) Ajustement de la loi GEV par voie empirique et (b) simulation des quantiles. (c) les niveaux de retour et (d) la densité de probabilité sont aussi ajustés.

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

Mode de retour	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans
Kaolack	67.1 [59.9 – 74.3]	87.5 [77 – 97.9]	0.9 [86.6 – 115.1]	3.7 [93.9 – 133.4]	0.9 [97.2 – 144.7]	00.4

CONCLUSION :

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

Références

1. GIEC (2021). Résumé pour les décideurs, Encadré 1. La période préindustrielle par rapport à laquelle les changements de température sont mesurés est délimitée de 1850 à 1900.
2. Rapport Mondial sur le déplacement interne (IDMC), publié en avril 2020, 136p <https://www.internal-displacement.org/global-report/grid2020/french.html> (consultation le 12 septembre 2022)
3. Rapport « État du climat en Afrique 2021 », Organisation Météorologique Mondiale (OMM), publié le 8 septembre 2021 à Maputo (consultation le 12 septembre 2022)
4. I. TOURE, D. M. NDIONE, I. LEYE, M. H. A. SAMBOU et M. L. SANE, Analyse des tendances dans les séries pluviométriques au Sénégal, revue Afrique SCIENCE 21(1) (2022) 122 – 135p.
5. D.M. NDIONE, S. SAMBOU, M.L. Sane, S. Kane, I. LEYE, S. TAMBA, M.T. CISSE, Statistical analysis for assessing randomness, shift and trend in rainfall time series under climate variability and change: case of Senegal. Journal of Geoscience and Environmental Protection, 5 (2017) 31- 53p. <https://doi.org/10.4236/gep.2017.513003>.
6. A. KOUASSI, R.-K. NASSA, K. KOUAKOU, K. KOUAME, & J. BIEMI, Analyse des impacts des changements climatiques sur les normes hydrologiques en Afrique de l'Ouest : cas du district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science, 32(3) (2019) 207–220p. <https://doi.org/10.7202/1067305ar>
7. P. N. KABORE, A. OUEDRAOGO, M. SANON, P. YAKA et L. SOME, Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du centre-nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015. Climatologie, vol. 14, (2017) 82-95p.
8. M. SARR, M. A. MOUSSA, E. H. DEME et B. DIOP, Trend and Return Level Analysis of Extreme Rainfalls in Senegal, Journal of Water Resource and Protection, 14 (2022) 221-237p.
9. M. A. Sarr, O. Seidou, Y. Trambly and S. E. Adlouni, Comparison of downscaling methods for mean and extreme precipitation in Senegal, Journal of Hydrology-Regional Studies, 4 (2015) 369–85p.
10. F. HALLOUZ, M. MEDDI, G. MAHE, H. KARAHACANE et S. E. A. RAHMANI, Tendances des précipitations et évolution des écoulements dans un cadre de changement climatique : bassin versant de l'Oued Mina en Algérie, Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 32(2) (2019) 83–114p.
11. K.N.D ATCHEREMI, J. P. R. JOURDA, M. B. SALEY, K. J. KOUAME, T. R. BALLIET, Etude de l'évolution des extrêmes pluviométriques et de température dans le bassin versant de Rivière DAVO (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) à partir de certains indices du logiciel Rclimdex, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°36, Dec 2018, 99-117p.
12. A. BEDOUM, C. B. BIONA, B. J. PIERRE, I. ADOUM, R. MBIKAKE & L. BAOHOUTOU, Évolution des indices des extrêmes climatiques en République du Tchad de 1960 à 2008, Atmosphere-Ocean, 55(1) (2017) 42-56p.
13. K.I. N'DRI and S. NADARAJAH, Statistical modeling of monthly maximum temperature in Senegal, Environmental Research Communication, 4 (2022) 075002. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac7bda>
14. F. MUTHONI, Spatial-Temporal Trends of Rainfall, Maximum and Minimum Temperatures Over West Africa, IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, vol. 13, (2020) 14p.

15. McKee TB, Doesken NJ, Kliest J, (1993), The relationship of drought frequency and duration to time scales, Colorado Climate Center Department of Atmospheric Science Colorado State University Fort Collins, pp 43-50, Colorado.
16. WMO, Guide d'utilisation de l'indice normalisé de précipitations, Organisation météorologique mondiale (OMM), (2012) 15-25 p.
17. P. FRICH, L. V. ALEXANDER, P. D. MARTA, B. GLEASON, M. HAYLOCK , A. M. G. TANK,
18. & T. PETERSON. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19(3), (2002) 193–212.
19. X. Zhang et F. Yang, RCLimdex 1.0, User Manual, Climate Research Branch Environment, Downsview, Ontario, Canada, (2004) 23 p.
20. [19] B. P. CHABI, Fluctuations Pluviométriques et Analyse Fréquentielle des Hauteurs de Pluie Maximales en Milieu Subéquatorial au Bénin, *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, Vol. 20 No. 2 May (2020) 310-326 p.
21. M. L. SANE, S. SAMBOU, S. DIATTA, I. LEYE, D. M. NDIONE, S. SAUVAGE, J.M. SANCHEZ-PEREZ et S. KANE, Trends and shifts in time series of climate data generated by GCM from 2006 to 2090, *International Journal of Scientific & Engineering Research* Volume 10 (5) (2019) 212 ISSN 2229-5518
22. M. LANDING SANE, S. SAMBOU, D. MARIA NDIONE, I. LEYE, S. KANE et M. LAMINE BADJI, Analyse et traitement des séries de débits annuels et mensuels sur le fleuve Sénégal en amont du barrage Manantali : cas des stations de Bafing Makana et Dakka Saidou, *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 30 (2017) 102 - 120 p.
23. S. SAMBOU & E. N. M. NIMY, Critique statistique des séries des pluies annuelles dans le bassin amont du Fleuve Sénégal, *Climate Variability and Change—Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, IAHS Publ. 308 (11) (2006) 319-324p.*
24. [23] P. EMBRECHTS, C. KLÜPPELBERG and T. MIKOSCH, *Modelling Extremal Events for Insurance and Finance* (Berlin: Springer), 1997.
25. Faye, A. Ndiaye, I. Mbaye, Une évaluation comparative des séquences de sécheresse météorologique par indices, par échelles de temps et par domaine climatiques au Sénégal. *J. Wat. Env. Sci.* Vol. 1, N°1, (2017) 11-28p.
26. Z. NOUACEUR, La reprise des pluies et la recrudescence des inondations en Afrique de l'Ouest sahélienne, *J. Open Edition-Géographie physique et environnement*, Vol. 5, (2020), 19p.
27. A. BODIAN, H. DACOSTA et A. DEZETTER, Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique, *Physio-Géographie Physique et Environnement*, vol.5, (2011), 116-133p.
28. SEBBAR, H. FOUGRACH, M. HSAIN et W. BADRI, Etude des variations climatiques de la région Centre du Maroc. Actes du colloque de l'Association internationale de climatologie, 5-8 septembre 2012, Grenoble, France, Vol. 1, (2012) 709-714p.
29. CAMARA, M. NOBLET, Q. LEJEUNE, Y. SANÉ, Évaluation de la variabilité climatique et des tendances climatiques futures dans la région de Fatick - Sénégal, Report produced under the project "Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne", Climate Analytics gGmbH, Berlin, (2019) 1 - 34 p.
30. C.K. Folland, T.N. Palmer and D.E. Parker, Sahel rainfall and worldwide sea temperature 1901-1985. *Nature*, 320 (1986) 602-607p.
31. FATY, A. KANE, & A. L. NDIAYE, Influence de la manifestation climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers dans le haut bassin versant du Sénégal, *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 30(2) (2017) 79–87. <https://doi.org/10.7202/1042915ar>
32. S. SENE et P. OZER, Evolution pluviométrique et relations inondations-événements pluvieux au Sénégal, *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 42 (2002) 27-33p.



REPUBLIC OF TUNISIA



International Conference-Training (EDC'2023) From 25 to 30 November 2023 Hammamet (Tunisia)

Water resources, Drought and Climate Change



E_{water} D_{rought} C_{Climate} '2023

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



2023

Colloque-Formation Internationale



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

Ressources en Eau, Sécheresse et Changement Climatique

20 au 25 Novembre 2023 Hammamet (Tunisie)

www.jistee.org

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

Pour plus d'informations veuillez contacter

Pr. Noureddine GAALOUH

E-mail: eauclimat@iresa.agrinet.tn

eauclimat@yahoo.com



International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

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



ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688 Open Access
08 Volumes, 24 Numéros, (356Articles) et 1 Livre
07 Volumes, 24 Issues, (356 Papers) and 1 Book

www.jistee.org

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

Volume (VIII) : 4 Numéros (. Articles) / 4 Issues (.Papers)

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

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

Numéro 2 – Juin 2023 (Articles)

Numéro 3 – Septembre 2023 (Articles)

Numéro 4 – Décembre 2023 (Articles)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés

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

©2022 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V (riii), Issue 1 – March 2023 – jistee.org/volume-riii-2023/



Appel à contributions : Prochain numéro la revue Scientifique : JISTEE – Juin 2023
Call for contributions: Next issue of the Scientific review: JISTEE – Juin 2023

✓ Open-access (OA) Journal

✓ Double-anonymous Peer Reviewing

✓ Fast Publication: 20-30 Days

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

Appel à contributions : Prochain numéro la revue Scientifique : JISTEE – Juin 2023

Nous coordonnons la rédaction, du numéro mois de Juin 2023 “ Eau- Sécheresse– Climat“, (ESC-2023), qui vous est ensuite offert gratuitement en format pdf.

Le thème retenu pour 2022 est “ Eau- Sécheresse – 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 Juin 2023 afin de pouvoir être révisées par le Comité Scientifique International et que la mise en forme du numéro ait lieu en Juin 2023 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 – June 2023

International Journal of Water Science and Environment Technologies

We are pleased to inform you that the Vol 8, No 2 of International Journal of Water Science and Environment Technologies is available at <https://jistee.org/volume-vi-2023/>

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 (VIII) - Issue 1 - [March 2023]

ISSN Online: 1737-9350

ISSN Print: 1737-6688

Open Access

www.iistee.org



www.iistee.org

Invitation for Research Article – June 2023

Dear Researcher

We are happy to inform you that the International Journal Water Sciences and Environment Technologies of Current Advanced Research print and online journal, e-ISSN: 1737-9350 p-ISSN: 1737-6688, | Open Access Journal | is launching its next issue (June 2023). We would like to invite you to contribute your Research Article for publication in IJWSET.

We publish

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

Description :

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

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

With regards

Editorial Office

International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

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

©2022 by the authors | Open Access Journal | ISSN Online: 1737-9350, ISSN Print: 1737-6688

V (viii), Issue 1 –March 2023 - jistee.org/volume-viii-2023/

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (viii) - Issue 1 – March 2023

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



**Water Scarcity, Rising Temperatures.
Facing Climate Change, from the Fight to
Adaptation?**

Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul

Published by:

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

JOURNAL INTERNATIONAL

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

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

Volume (viii) - Numéro 1 – Mars 2023

E_{au}-S_{écheresse}-C_{limat}'2023



Pénurie d'eau, hausse des températures...
Face au changement climatique, de la lutte à
l'adaptation ?

Rédacteur en Chef : Pr Nouredine Gaaloul

Publié par :

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