International Journal Water Sciences and Environment Technologies : Volume (vii), Issue 1 – March 2022

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (vii) - *Issue 1 – March 2022*

Water-Health-Climate'2022

Climate Change: What Effects on Our Health?

Editor-in-Chief: Pr Noureddine Gaaloul

Published by:

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

International Scientific Committee (ISC-WHC'2022)

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

Preface

The health effects of global warming: developing countries are the most vulnerable.

Between 2030 and 2050, climate change is expected to generate nearly 300,000 additional deaths per year, increasing child malnutrition and undernutrition, insect-borne diseases, diarrhoea and heat-related stresses. The potential influences of these changes on health are therefore multiple and interrelated. To these damages, it is necessary to add the migration of populations fleeing profound changes in their living environment: decrease in agricultural yields, floods, sea level rise…. Nearly 250 million "climate refugees" are expected at the horizon of 2050. Everyone remembers the excess of mortality in Europe during the heat wave in the summer of 2003, whereas 70,000 deaths were recorded in August alone. The climatic effects on infectious diseases are more complex. But entomologists are convinced that the expansion of hot and humid areas on the surface of the globe would increase populations of virus-carrying insects tenfold. Finally, the economic impacts of climate change speak for themselves: the estimated cost of direct health damage is estimated at between $2 billion and $4 billion per year by 2030.

The temperature has increased by about 0.85°C worldwide over the past 130 years. This increase is mainly due to the increase in greenhouse gases. Over the past 25 years, the rate has accelerated and we are at more than 0.18°C of warming per decade. Sea levels are rising, glaciers are melting and rainfall distribution is changing. In addition to these factual events, there are global climate changes, which are more complex to measure and which are manifested, among others, by extreme weather events (drought, floods, heat waves) increasing in intensity and frequency (see Tropical Cyclones: impacts and risks). Apart from a few rare effects of climate change that could be considered positive (e. g. reduction in winter mortality in temperate zones), these appear to be harmful to health. For example, the negative impacts of climate change on the yields of most crops can be cited. In their fifth assessment report, members of the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) noted many periods of very rapid increases in food and cereal prices following extreme weather events (giant fires, storms, floods).

Besides the visible effects on people's livelihoods, global warming is predicted to have a strong and adverse impact on human health. The populations of countries that have contributed the least to global warming are the most vulnerable to death and diseases brought about by higher temperatures. The coastlines along the Pacific Ocean and the Indian Ocean and in sub-Saharan Africa will be at higher risk of enduring the health effects of climate change. The World Health Organization (WHO) reports that climate change is responsible for at least 150,000 deaths per year, a number that is expected to double by 2030.

The effects of climate change are already being perceived today and projections for the future represent a potentially catastrophic risk of a magnitude that is difficult to accept for human health. The effects of global warming on human health are in addition to the effects of changes linked to globalization (demographic changes, social change, economic activity).

According to WHO, areas without good health infrastructure, most of them in developing countries, will be the least able to prepare and cope with the situation without assistance. If a major mitigation effort is not undertaken, there will come a time when health systems adaptation (e.g. heat stroke) will no longer be possible. The only responsible attitude now would be a radical change in our economic models and lifestyles in society. It has become a matter of life and death, for humans and for the biodiversity on which their health depends very directly.

Global warming can result in droughts that can worsen living conditions, particularly in Africa. The World Wild Fund has reported that climate change can drastically alter rainfall pattern, and risk water and food supplies for millions. The IPCC report estimates that approximately 75 million to 250 million people in Africa will be without adequate water and will face food shortages by 2020, as crop productivity will decline by about 50 per cent. Rising temperatures could also result in food shortages for 130 million people in Asia.

Noureddine 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**
07 Volumes, 20 Numéros, (317 Articles)
07 Volumes, 20 Isues, (317 Papers)

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

Eau-Santé-Climat'2022 / *Water-- Health -Climate'2021*

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

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 Intégré 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 (E²C-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 (E²C-2018) /Water-Environement-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 – Décembre2014 (*11 Articles)* Changements Climatiques en Région Méditerranéenne /*Climate Change in the Mediterranean Region*

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés

Table of Contents

Covid-19's impact on Architecture, Urbanism and Health 5
Meriam Gaaloul *(Faculty of Architecture La Cambre Horta - ULB - Belgium)*

Spatiotemporal Analysis of Precipitation and Their Relationship with Climate Indices (Soummam Basin, Algeria) 18
Fayrouz Bahloul *(University Abderrahmane Mira Bejaia – Algeria)*

The health effects of global warming: developing countries are the most vulnerable 36
Gaaloul Noureddine *(University of Carthage – INRGREF - Tunisia),* Saeid Eslamian, Rim Katlane

Pression urbaine et vulnerabilité des terres agricoles dans l'arrondissement de vakon (commune de akpro-misserete) 54
Sandé Zannou *(Université Abomey-Calavi – Benin)*

Extraction du sable fluvial et inondations dans la commune de Ouinhi 68
Parfait Cocou Blalogoe *(Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénieries et Mathématiques – Benin)*

Valorisation des extraits de Melissa officinalis tunisienne et étude des activités antifongique et antibactérienne 83
Souihi Mouna *(University of Carthage – INRAT - Tunisia),* Trabelsi Imen, Radaoui Anis, Khammassi Marwa, Gargouri Samia, Annabi Mohamed

Crises agricoles et rôles des collectivités locales dans la sécurité alimentaire au Bénin 90
Vodounnon Totin K. Marius *(Université Abomey-Calavi – Benin)*

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

Meriam Gaaloul
Covid-19's impact on Architecture, Urbanism and Health
International Journal Water Sciences and Environment Technologies
Vol. (vii), Issue 1, March 2022, pp. 5-17
ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access
www.jiste.org
Scientific Press International Limited
Received: 14 January 2022 / Revised: 20 February 2022 / Accepted: March 2022 / Published: March 2022

Covid-19's impact on Architecture, Urbanism and Health

Meriam Gaaloul[1]
[1] Faculty of Architecture La Cambre Horta - ULB (Belgique)

Abstract

This paper aims to assess the Covid-19's impact on Architecture, Urbanism and Health in the prevention and mitigation of pandemics and the place it may occupy in future international strategies. This paper examines how architecture can make communities and urban environments more resilient to disease and how healing design can support a global war on pandemics. This literature review paper aims to discuss the impacts and measures taken on Covid-19 with respect to architecture, built form and its allied fields along with observations from around the world with the end results of its implementation. Various research Internationals Journals from Science Direct and Taylor and Francis among others were referred and reviewed to learn more on Covid-19 along with its impacts on people and their built environment.

Keywords that aligned with the topic of interest like pandemic, Covid-19, coronavirus, urban spaces, built environment and built-up space were identified. Space, Structures, and Design in a Post-Pandemic World will influence anyone interested in how design thinking can transform how we see the world and those looking for new ways to understand what the COVID-19 pandemic means and what opportunities it creates for our environments.

The paper is a review article that seeks to provide a summary of recent writings that speculate on the possible futures of the post-COVID on architectural urbanism and health.

Key Words*:* Architecture, Urbanism, Built Environment, Urban design, Health, COVID-19

Impact du Covid-19 Sur L'Architecture, L'Urbanisme et la Santé

Résumé

Cet article vise à évaluer l'impact du COVID-19 en architecture : urbanisme et santé dans la prévention et l'atténuation des pandémies et la place qu'il pourrait occuper dans les futures stratégies internationales. Il examine comment l'architecture peut rendre les communautés et les environnements urbains plus résistants aux maladies et comment la conception curative peut soutenir une guerre mondiale contre les pandémies. Cet article de revue de la littérature vise à discuter des impacts et des mesures prises sur Covid-19 en ce qui concerne l'architecture, la forme bâtie et ses domaines connexes ainsi que des observations du monde entier avec les résultats finaux de sa mise en œuvre. Diverses revues internationales de recherche de Science Direct et Taylor et Francis, entre autres, ont été référées et examinées pour en savoir plus sur Covid-19 ainsi que ses impacts sur les personnes et leur environnement bâti.

Des mots clés correspondant au sujet d'intérêt comme pandémie, Covid-19, coronavirus, espaces urbains, environnement bâti et espace bâti ont été identifiés. L'espace, les structures et le design dans un monde post-pandémique influenceront tous ceux qui s'intéressent à la façon dont le design thinking peut transformer notre façon de voir le monde et ceux qui recherchent de nouvelles façons de comprendre ce que signifie la pandémie de COVID-19 et les opportunités qu'elle crée pour nos environnements.

L'article est un article de synthèse qui cherche à fournir un résumé des écrits récents qui spéculent sur les futurs possibles de l'après-COVID sur l'urbanisme architectural et la santé.

Mots Clés : Architecture, Urbanisme, Environnement bâti, Design urbain, Santé, COVID-19

[1] Corresponding author meriam.gaaloul@ulb.ac.be

INTRODUCTION

In late December 2019, an emergence (COVID-19) was first diagnosed in Wuhan, China, occurring due to a novel coronavirus [1]. The coronavirus has now been rapidly spread to almost all parts of the world [2,3]. The global outbreak of the novel coronavirus disease or COVID-19 has been declared as a pandemic like Ebola, Zika, and Nipah by the World Health Organization (WHO) on March 12, 2020 [2]. This is now considered to be of major international concern toward public health. The coronavirus disease (COVID-19) is triggered by 2019-nCoV or most commonly known as severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), belonging to the β-coronavirus cluster [4].

According to the report of the World Health Organization (WHO), the COVID-19 epidemic has already affected millions of people across the globe [3]. The data itself is alarming, and the entire humanity is battling this era's most gut-wrenching war. However, till date, in the absence of specific therapeutic drugs or clinically approved vaccines for COVID-19, intensive research is urgently needed on the newly emerged SARS-CoV-2 to identify potential drug targets and for the eradication of the pathogenic mechanisms and epidemiological characteristics for the development of effective strategies for its prevention and treatment [5].

This virus does not show consistent symptoms in all and spreads rapidly through contact with an infected person, so it is not easy to detect it without testing. Combating the disease is difficult as no specific therapeutics and with vaccinations arriving with slow lifting of restrictions. Hence, early detection and containment of infected individuals is the best possible approach to reduce the spread of the infection. Covid-19 has impacted every industry and eventually overall economy of every country. In order to contain and control the infection many countries and regions adopted lockdown policy by closing their borders and restricted day to day activities [6].

The COVID-19 pandemic has sent tremors around the world causing colossal loss to human lives, still bestowing an unprecedented encounter to public health, lifestyles and economies of the world which already stands gravely affected. Two years after the COVID-19 global pandemic, the worldwide lockdowns leave behind immense impact on millions of citizens, shutting down businesses and industries ceasing all the economic commotion. By February 2022, there have been 5.9 million official covid-19 deaths worldwide in the pandemic reported to WHO [7]. The covid-19 pandemic has re-centered health in our daily lives and reminded us that the places in which we live, work, play, and seek care all exert profound influences—intended and otherwise—on health outcomes. Yet, urban dwellers have long cohabitated with contagious illnesses, pollutants, and other environmental stressors, and, as a result, have attempted to create places that promote public and individual health in a holistic sense. These efforts can be read in built settings at all scales, from city plans and public parks to hospitals and homes. While there is much scholarly richness at the intersection of health and the built environment, this topic is somewhat marginalized in the field of urban and architectural history [8].

The novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic has posed a major threat to human life and health. The COVID-19 had been documented in more than 210 countries, directly affecting people's life. There is a great crisis all over the world, and scientific communities are rigorously looking for instant solutions to deal with COVID-19 problems. The vital scientific communities are rigorously looking at these public health challenges, global crisis and finding new ways to deal with this pandemic disease. Currently, there is no specific effective approved drug or vaccine available in the market to treat or prevent COVID-19. Thus, there is an urgent need for more and better research to boost up the development. In the absence of health implications, the social and environmental counterreactions to the Modernist movement led to the Green Architecture, New Urbanism or Urban Village movements. After the last decades warnings about future pandemics, some of the present COVID-19 scientific findings have notable impact on the built environment design: pollution, green areas, urban population density or air quality control

As we crawl into the second decade of the twenty-first century, economy of several countries has hit rock bottom due to widespread of the pandemic "COVID-19". It is crucial to understand and comprehend that architecture is a powerful visual and objective tool that influences the economy of a region. Architecture is an excellent medium which reflects the economic condition of any area. Architecture is a manifestation of arts, technological advancement, socio-economic conditions, intention of builders and dynamics of above parameters of a place on time line.

Hence this research paper's objective is to unfold the impact of COVID-19 on architectural urbanism and health.

HISTORICAL PANDEMICS COVID-19 AND ITS URBAN IMPLICATIONS

The name of this virus is derived from Latin word "corona," which means "crown or wreath" [9]. This name "coronavirus" was first coined by June Almeida and David Tyrrell who first observed and studied human coronaviruses [10]. In an infected person, the viral spike protein in the virus attaches to host cell receptor, the virus particle is uncoated, and its genome enters the cell cytoplasm.

The family of coronavirus has been around us for a long time. Coronavirus was first identified in 1930, which was responsible for bronchitis in birds caused by infectious bronchitis virus [IBV] [11]. A decade later, in 1940s, two animal coronaviruses, mouse hepatitis virus (MHV) and transmissible gastroenteritis virus (TGEV), were isolated [12]. Researchers discovered evidence of human coronaviruses in the 1960. The virus B814s was isolated from the nose of a boy having common cold [13].

This isolated virus when inoculated into the nose of volunteers caused a cold and was inactivated by ether since it had a lipid envelope [13]. Meanwhile, another novel virus 229E was isolated, and like the virus B814, when inoculated in volunteers, it induced common cold and inactivated by ether [14]. Not only these two viruses were related to each other but were related to IBV also. The National Institutes of Health during the same time isolated another member of this new group of viruses, named OC43 [13]. All these viruses on electron microscope had distinctive club-like spikes [15]. This new group of viruses because of their distinctive morphological appearance is known as coronaviruses [12]. Since then, other human coronaviruses were discovered which include SARS-CoV (2003), HCoV NL63 (2004), HCoV HKU1 (2005), MERS-CoV (2012), and SARS-CoV-2 (2019) [17, 18].

COVID-19 is one amongst the many pandemics in recent history. Coronavirus isn't the world's first pandemic, there have been other pandemics that have hit the world and ended the lives of millions [19]; which not only affected the health field but also left urban impacts and economic consequences. Since the flu of 1918, at least eight pandemics with global social and economic effects have been documented [20]. Pandemics are part of the modern world. About 14 million people die annually because of a pandemic [21].

From the temporary breakdown of global supply chains to the hollowing out of once bustling city streets, COVID-19 has caused a seismic change in the way we navigate our urban environments. COVID-19 has been added to a long list of rapidly spreading infectious diseases in the current century, such as tuberculosis in South Africa in 2006, and Ebola in West Africa in 2014, which represents a new challenge for cities to plan effectively and to turn into healthy cities [22].

As history always reminds us of the interrelationship between critical diseases and features of cities, it could leave marks on our cities, our societies and ourselves, we should know that things will never go to be as it was the past. Although since the 19th century the built environment traditionally had a decisive role in mitigating pandemics, such as tuberculosis, the emancipation of medicine, after the discovery of antibiotics, gradually excluded architecture and urbanism from the strategies against pandemics.

In the context of COVID-19, there are relevant reasons for an interdisciplinary scientific approach of pandemics including the built environment and for a reevaluation of the future international strategies [23]. A pandemic is the worst scenario which happens when an epidemic outbreaks beyond the country's borders. When epidemics especially respiratory ones emerge, precautionary measures emphasize the necessity of isolation, and closure of public spaces. Also, it turns the image of cities and public spaces into empty environments, but mostly after the end of the crisis; it requires a change in the city's shape to integrate between community health practices and social thinking into urban design [24].

The COVID-19 pandemic acted as a catalyst to boost people's awareness and concern about climate change and environment. The reduced air pollution level and change in environment during COVID-19 shutdown/lockdown in different parts of the world gathered the attention of all and gave us time to introspect. As the health and human toll is still on rise, the economic impairment is clearly apparent and embodies the largest economic shudder the world has experienced in decades. Let alone the economic impact the pandemic has left both short- and long-term insinuations for mental health and lifestyles with thousand being unemployed and restricted to their homes.

The mental health impact of catastrophes can outlast the physical impact, several studies [25, 26, 27, 28, 29, 30, 31] point towards the need, and urgency of elevated mental health need will continue well beyond the COVID-19 pandemic itself. The daunting social wreck caused by the pandemic is equally devastating: With predictions

of tens of millions of people are at risk of dwindling into extreme poverty, up to 132 million being undernourished under the influence, which in turn possess a severe risk of increased mortality due to "deaths of despair". The economic depression and social seclusion loom greater danger of drug and alcohol misuse with studies predicting greater fatalities due to suicides. The COVID-19 pandemic stands still as a major health and humanitarian crisis with profound impact on life, health and economy.

For the current emerging market and developing economies, with daunting vulnerabilities in the basket of uncertain future, it is critical to reinforce public health classifications and strong adherence steps against the spread along implementing reforms for stout and sustainable evolution once the health catastrophe subsides. In the race to alleviate the loads of the COVID-19 pandemic, it will be pretty vital to consider the augmented necessity for mental health services and to support pertaining the long-term loss and human impact even if the fatality and new infections dwindle. Over the longer prospect, the deep downturns prompted by the pandemic are anticipated to leave behind deep scars through significant attrition of human capital through lost labour, schooling and disintegration of global trade and supply connections all across the globe. It has been well-acknowledged that health and well-being have declined due to the coronavirus disease (COVID-19) pandemic in many countries worldwide [32, 33].

The COVID-19 pandemic and the related measures to prevent the spread of the disease have caused, among others, stress, anxiety, confusion, anger, depression, food insecurity, unemployment, and loss of economic activity [34, 35, 36, 37, 38, 39]. Cities and urban planning can contribute to health and well-being in a variety of ways [40, 41, 42, 43, 44, 45]. Recent research has started to explore the links between cities, urban planning, and COVID-19 ways [26, 42, 46, 47, 48]. However, as the pandemic is still an on-going phenomenon, the role of cities and their built environment characteristics in health and well-being during COVID-19 remains an open question that requires sufficient empirical documentation from a variety of urban environments.

The pandemic continues to evolve rapidly around the world. Disease progression remains uncertain, as emerging outbreaks and more infectious novel variants challenge the region's progress. Many governments took decisive actions early to contain the pandemic. Despite these actions, significant and persistent impact on both health and economic-related dimensions have been observed across many countries.

On the above, though the outbreak of COVID-19 may have somehow halted the attention on application of the smart cities concepts those different cities were piously pursuing, its management is seen to be prompting new legislations aimed at enhancing tech solutions to contain the spread, and most of these will survive postvirus. Their enactment, therefore, does not only address the virus, but in the future, they will also add to the existing ones on urban livability, and ultimately, they will lead to better urban and policy decisions. In particular, those policies have formulated to guide in restricting movements, instituting guidelines, and containing the transport sectors, and others will have a positive bearing in the future in ensuring issues such as traffic congestion, supply of basic services, and provision of securities and other issues are maintained. This will be based on the increasing data that different cities are generating those measures that have been placed to contain COVID-19.

With lockdowns, it has been evident that urban livelihood was to be negatively impacted, and in no time, this came to pass, with citizens in a number of cities in different countries protesting. This situation in cities is largely blamed on the haphazardly formulated policies that were mechanically enacted with little consideration of the negative impact that they would draw on locals. In most cities, despite the high population and density, government was seen to delay in implementing measures that would allow them to manage early detection, which would eventually help to reduce the number of local transmissions that prompted the lockdown. However, the blame is not all on government, for it also took time before it was established that the virus could be transmitted from one person to the other.

Therefore, in most cities, the lockdown came when local transmission had already spread. But while that is the case, local governments had the capacity to learn, especially by analyzing data of cities such as Wuhan, which was affected first, and see how cases were spreading quickly and thus prepare effectively, especially by formulating restrictions measures that are more flexible, while being effective, for locals.

The COVID-19 virus not only serves as a live case study for pandemic preparedness and response but also provides an opportunity to address the thematic of urban health.

COVID-19 AND THE BUILT ENVIRONMENT

The "built environment" in healthcare refers to the hospital structure and any other fixed or semi-permanent components of the facility with which healthcare personnel, patients, and their families must interact [49]. The year 2020 came with the outbreak of COVID-19 and raised several questions before architects and urban planners regarding their role to make a more sustainable built environment in the post-pandemic world. This pandemic situation has not only impacted people's daily habits and behavior but also challenged our cities, buildings, and interiors to evolve and sustain in the "New Normal World". Given the infectious nature of COVID-19, the built environment can play a role in affecting transmissibility. Researchers, healthcare professionals, and healthcare architects and engineers have identified numerous areas of risk, offered mitigating solutions, and must now consider what modifications are necessary moving forward to continue to improve the safety of healthcare facilities, not just in response to COVID-19, but to foster resilience and capabilities for the next unknown threat to the healthcare system.

The role of architectural practice and pedagogy to respond, shape and rebuild a new normal consolidates the issues for living in a post COVID-19 urban century.

Several studies [50, 51, 52] suggest, that the adoption of inclusive design in design practice is limited so far, especially in relation to the built environment. This limited adoption may relate to misconceptions existing around inclusive design [53]. Heylighen et al., 2016 [50]. show Ten questions concerning inclusive design of the built environment that arise when inclusive design is considered in relation to the built environment. It discusses how inclusive design is defined and interpreted, what its relevance, implications and challenges are in relation to the built environment, how it relates to other significant design issues, and how it can be fostered in the future. As a result, many architects and other built environment professionals may feel uncertain as to what exactly inclusive design entails. This suggests that there are still many challenges to address, relating to the perceptions and the practical applicability of inclusive design.

On 19 December 2019, the global health crisis spread to every capital city, intermediate city and small-town. It forced governments, businesses, academics, professional and workers to invent new ways for all of society to function while controlling the spread of the disease and finding a vaccine. The ongoing task was, and is, to establish what has been called the new normal.

The professions, pedagogies and practices of architecture have identified the design problem and created new uses and designs of the spaces between buildings and the buildings themselves. While acknowledging the seriousness and magnitude of the problem the world faces, the papers in this special edition of the journal have generated an overwhelmingly constructive perspective on a new normal.

The accelerated adoption of online, digital and distance technologies has forced the disciplines of the built environment to tackle the technology/design/spatial experience triadic of architecture and urbanism in an immediate way, through pedagogy, practice, and research.

The interrelated impact and instant feedback of this adaptation in work/study, leisure and private life has created ways to embrace an uncertain future. The greatest lessons for business, government and citizens from a-normality have been demonstrated in new forms of co-operation between science, technology and society that has glimpsed a possible third way to a new and better normal.

As the healthcare community and healthcare architects look beyond the crisis response to the pandemic, the question becomes how COVID-19 – and what has been learned about infection control – will impact how the healthcare-built environment is approached in the future. Hospital EDs and other outpatient clinics may wish to consider more seamless integration of screening processes into facility entry points, creation of more permanent segregation of potentially contagious patients in waiting rooms, and perhaps also maintenance of reduced capacity to allow for more physical distance. In further support of physical distancing, both inpatient and outpatient facilities may need to consider whether they have adequate space available for the expansion of more permanent Health Insurance Portability and Accountability Act-compliant telehealth service offerings. Outside of the design elements, there is the opportunity to consider the incorporation of more sophisticated testing of the surrounding environment. This may involve implementation of more robust environmental risk management programs. For example, including regular testing of surfaces, water, and air for infectious contaminants.

COVID-19'S IMPACT ON ARCHITECTURE AND DESIGN

Having only just two yeras of scientific knowledge with regard to the current pandemic, mainly on the health aspects and less on the wider effects or interrelations with the city environments, this paper attempts to contribute to filling the void in knowledge on how cities and built environment characteristics contributed to health and well-being during COVID-19. In early debates and research evidence, some built environment characteristics have been highlighted as fundamental for their potential contribution to health and well-being during COVID-19. These were urban density, public transport, access to facilities, green space, and housing.

Urban density has not only been widely debated for its contribution or non-contribution to virus transmission [44], but it has also been seen as a key feature during the pandemic as it influences, to a large extent, several other built environment characteristics. For example, denser urban areas can enable better, more frequent public transport services, easier access to facilities, while they are typically characterized by limited green space (especially in the form of private gardens) and by apartment blocks (and not e.g. detached housing) [55, 56]. Public transport, access to facilities, green space, and housing may contribute to health and well-being via different pathways [57, 58, 59] but these pathways or their importance seem to have changed during COVID-19.

Public transport might have been less safe to use during the COVID-19 pandemic because its enclosed space and the difficulty to maintain social distancing [60] and its use was reduced more than the use of other travel modes [60, 61, 62]. Residents who relied on public transport and who had to continue to travel (e.g. to work) during the pandemic might have experienced risk of infection but also stress and other negative feelings while traveling [63].

Local facilities (e.g. shops, education, recreation, healthcare) that remained open during the pandemic have allowed residents to participate in activities but also to have access to healthcare services when necessary [42, 47, 64]. Easy access to local facilities typical for mixed-use neighborhoods have also facilitated walking activity during the pandemic [65]. Therefore, via these different pathways, accessibility to local facilities could have contributed to health and well-being during COVID-19.

Green space (including both public and private green space) has been considered particularly important for mitigating the negative impacts of COVID-19 on health and well-being by offering emotional and mental health benefits and a safe open space for activity participation [66, 67, 68, 69, 70].

The role of housing has also been highlighted during COVID-19. Overcrowded dwellings may have contributed to more infections since social distances and quarantines are more difficult to maintain in tighter spaces [71]. Moreover, as people spent more time and performed more daily-life activities in their dwelling during the pandemic, larger dwellings were likely more functional and more pleasant contributing to better health and well-being outcomes [72].

The pandemic affected the design of built environments almost overnight as supermarkets erected plexiglass barriers, and grocery stores taped off areas to stand in line. Indeed, for stores, offices, restaurants, and other public spaces, Covid-19 "isn't just a health crisis – it's also a design problem." Facilities have chosen to remove chairs from their waiting rooms, create separate waiting rooms for those displaying signs of COVID-19, and designate alternative waiting rooms and check-in processes outside of the facility to further minimize the number of patients inside a facility at any given time [73, 74]. Architects and designers have already observed several responses to this design problem, however, including:

i) More automation (and fewer high-touch surfaces): Many architects and designers predict an increased reliance on automated products and fewer shared surfaces, including touchless technology such as voice-activated doors and elevators, hotel room entry from mobile phones, or window/door blind and louver control from mobile applications or other remote controls. On a more low-tech level, the already-begun elimination of public restroom doors in many buildings will likely accelerate [75].

ii) Healthcare design becomes everyday design: As architects and designers create spaces with Covid-19 in mind, some design elements more standard in healthcare applications will likely play a more prominent role in our day-to-day built structures. This includes built-in hand sanitizing stations, improved ventilation and sunlight, a reduction of flat spaces that can catch germs, and the use of building materials that promote improved hygiene, such as antibacterial compounds and easy-to-clean products [76].

iii) Rethinking of domestic spaces: Having everyone working from home isn't so great if your home is so loud you can't concentrate, which is why there has also been a rethinking of domestic spaces with an emphasis on vision and sound control. "The loft, the New York City typology, seems to be not the romantic thing at the moment," notes Dutch architect Florian Idenburg. "Everyone's on Zoom calls." Similarly, the use of walls or room dividers on wheels have become in-demand as people stay home 24-7 and become bored with their space's layout [77].

iv) An increase in modular construction and lightweight architecture: The need to design and build quickly was thrown into stark relief during the pandemic's early days especially in healthcare when some hospitals had to convert private businesses or public spaces into makeshift field hospitals. This gave rise to a large demand in modular and prefabricated building materials and solutions designed with crisis response in mind [78].

v) Reclaimed public spaces: Outdoor dining in various public areas, once temporary, has now become a permanent fixture and that's only a small part of the transformation of public spaces in the wake of the pandemic. More people at home, along with fewer dining and entertainment options, means public spaces have taken on new importance and will see heavier investment and importance placed on them by cities [79].

A long-term reduction in office space demand is almost certain, as well, as organizations either go remote or rely more on hybrid models including remote teams combined with smaller office footprints. Some commercial leasing companies, as well, have offered solutions including:

- A fast yet thorough analysis of an organization's current space as it pertains to disease safety, with improvements made where necessary
- A set of virus mitigation rules, known by all who use the office, that prioritize safety above all else
- Visual, permanent routing markers and clear dividers for in-office traffic flows to ensure safety.

If COVID has shown us anything, it is that the ability to be all of these things supports creative responses to societal and political change and that robust creative efforts are essential to designing human survival in dangerous and unpredictable times.

As understanding of COVID-19 continues to evolve, the design of cities and buildings needs to be re-examined urgently to make them more resilient to future pandemics. A central element in the development of more responsive policies to the current pandemic, not to mention future crises, is the concept of urban "weak spots". While these frequently include the most economically disadvantaged areas of a city or region, the factors that determine their vulnerability are wide-ranging and can encompass a variety of dimensions relating to their location, connections, built environment and building design that leave them more exposed to shocks or stresses.

Cities should review local regulations to promote streets, sidewalks and plazas as public spaces and allow for more social, economic and cultural activities to take place, incorporating necessary requirements for social distancing and cleaning.

Individual spaces can be scaled up too many sites across a city, but cannot generally provide distribution, connectivity or locational accessibility. On the other hand, a citywide strategy can set clear spatial goals, governance arrangements, implementation plans and budgetary needs, in the process driving good urban development.

Strategize how to reconfigure existing building stock to adapt to new and emerging challenges brought on by COVID-19. Some of the most successful urban interventions in the first phase of the pandemic involved the imaginative repurposing of unused spaces such as hotels, stadiums and museums as health and care facilities when these were needed most. Even once the worst waves of the pandemic recede, there will still be considerable opportunities to reconfigure underutilized spaces as remote offices, educational facilities and other functions.

Cities should learn from their experiences during the current pandemic and develop an adaptive strategy in the event of further shocks. This could include identifying suitable multi-purpose buildings as part of health resilience plans to ensure equitable distribution and access to emergency buildings, especially for vulnerable populations in isolated or peripheral settlements.

COVID-19'S IMPACT ON HEALTH

The COVID-19 pandemic has laid bare the risks that climate change, habitat destruction and our own consumer and travel behaviours pose not only to environmental health, but to public health as well. Animal species and zoonotic diseases that might have been contained to a specific locality in the past have proven, in today's globalized world, to leave no one untouched. Despite impressive gains in recent years, COVID-19 has exposed profound and longstanding inequalities within cities in access to safe drinking water and sanitation, as well as other essential services. During previous pandemics, such as Ebola in West Africa, lack of access to water and sanitation was a major determinant in which countries were worst affected [80]. With COVID-19, too, the absence of equitable water and sanitation services in many areas has left residents at heightened risk of contracting the virus. Well managed waste disposal is essential to public health, particularly in cities, yet more than 2 billion people are currently without basic waste management services. The number lacking access to controlled disposal of waste is even higher, at over 3 billion people [81]. The spread of the novel COVID-19 virus has caught the world by surprise, and as such, many uncertainties remain on the most effective solutions to apply in order to slow down the propagation of the virus. Authorities are making decisions about mitigation, confinement, isolation, quarantine, and health-care system capabilities. Individuals, depending on the country, culture, social-economic context, age, and season, are also making decisions concerning the pandemic. Similarly, current data points to adequate sanitation facilities as an important deterrent to COVID-19 transmission, as recent COVID-19 virus "sheds in faeces and can be detected in wastewater [82]. The situation is particularly alarming in low-income countries, where waste is frequently "dumped in watercourses or vacant land or burned in the open air near the residences", [81] posing grave public health risks. Often, these polluting sites are located near marginalized neighbourhoods, further increasing the burden borne by residents of these areas. The pandemic has amplified the challenges of waste management. Increased use of plastic, disposable masks, protection kits, cleaning supplies, alcohol-based sanitizers, as well as the purchase and consumption of canned and packed food, has created many tonnes of additional waste, much of it hazardous.

Hospitals and healthcare facilities represent a class of infrastructure that can benefit from an adaptive approach to design. COVID-19 revealed that hospitals lacked theflexibility to easily pivot and scale-up to manage a pandemic surge [83]. Going forward, hospital administrators will need to consider how their spaces can expand and contract, depending on the number of patients who come in [84]. In addition to emergency beds, many hospitals will need to be able to adapt spaces for isolation units to handle infectious patients, and for anterooms for healthcare workers to safely don and doff their for personal protective equipment [84].

By the middle of the 19th century, the pavilion-style had emerged as the standard form of hospital design in the United States, and abroad [85]. A typical pavilion-style hospital was a low-rise (three to four stories tall) structure with U-shaped wards that extended out from a central corridor [86]. The design carved-out generous space between the wards for gardens, trees, and courtyards, connecting patients with nature. The height of the hospital was kept low in order to maximize wind flow and ventilation, and the wards were oriented to maximize daylighting [87]. Inside the wards, rows of beds were surrounded by windows to optimize light, views of nature, and cross-ventilation. Each design decision was intended to treat the hospital's architecture as part of the cure.

By the early 20th century, hospital design began to change. as new technologies and medical specializations emerged, the hospital building began to be regarded less as a "medical instrument," and as more of a "facilitator for current medical behaviors and practices [88]. Tthe advent of elevators and hvac systems also contributed to the change in the building's form, and how they are operated. for critics, this shift ushered in an abiding emphasis on efficiency, costs, and standardization, which came at the expense of patient healing [86].

In recent years, a growing body of research is confirming what the architects of the pavilion-style of hospitals knew from theory and intuition: that the built environment plays an important role in promoting health and well-being [86]. The research is being conducted in a number of fields from biology to psychology and building science. much of the research now falls under the banner of evidence-based design. in healthcare settings, this research shows that "the built environment impacts patient stress, patient and staff safety, staff effectiveness, and quality of care." [89].

Despite what one may imagine, a virtual ward isn't about you having your clinical team at your bedside. Instead, the virtual model mimics a ward environment in an individual's home but with the clinical team at a distance. With a daily ward round for each patient, the ward clerk coordinates a patient's care from the office, with the clinical work being led by a matron. Back in those early days, the lowly telephone and home visits were the main

ways for the virtual team and the patient to keep in touch. It worked well, but before the pandemic had not been rolled out at scale. Fast forward to 2020 and COVID-19 created the perfect conditions to reinvigorate the concept of virtual wards. With hospitals straining at the seams, and fear of contagion making them feel a less safe place than before, being cared for at home had all the hallmarks of the perfect plan. Even better, advances in technology since the inception of virtual wards have turbocharged what was possible in the Croydon precursor to the contemporary COVID-19 virtual ward. This is how it works. Virtual pandemic wards enable patients to stay at home under supervision and for health professionals to spot early signs of deterioration which might require more intensive treatment. Sometimes the wards avoid the need for people to go into hospital and other times they enable early discharge from a hospital stay. As with many apparently digitally enabled innovations – pen, paper and telephone calls are often the default – but technology is starting to play more of a role.

CONCLUSION

This paper outlines a series of risk factors that will increase the frequency and intensity of disease outbreaks in the years to come. As COVID-19 has shown, an outbreak can occur at any time. Architecture can be an agent to help reduce the risk. By creating spaces that prioritize health-giving attributes through the circulation of airflow, spatial design, biophilic elements, natural light, and selection of the right building materials architecture can be built for healing, and to support infection control. This review deals with the emergence and evolution of impact on Architecture, Urbanism and Health caused by the COVID-19 pandemic. It presents an overview of registered space-related manifestations within the different segments of urban environment, provoked by national, regional, or local regulations or voluntary recommendations applied in order to slow down the transmission of the virus, and the adaptation of urban residents to new circumstances. Both the introduced measures and the human adaptation that emerged in their response resulted in rethinking future Architecture, Urbanism and Health scenarios that provide resilience to new potential pandemics.

In the 19th century, cities like London, New York, and Paris implemented housing reforms to improve the living conditions in tenements and other dwellings. This period coincided with a broad sanitary movement to shape urban form to make it healthier. The incorporation of light, nature, and airflow into a building's design was seen as a prescription for sickness and disease.

In recent years, a growing body of research is confirming what the architects and planners from the past knew from theory and intuition: that the built environment can play an important role in promoting health and well-being. Studies show that the built environment affects cognition, productivity, and wellness in office spaces, and the quality of care in hospitals and healthcare settings.

COVID-19 has reaffirmed how the spaces we inhabit can either protect people or make them sick. COVID-19 has also shown how outbreaks of disease are spatial problems. As a field, architecture is well-suited to design spaces that reduce the public's exposure to contamination. With the right building materials, airflow, and spatial strategies, spaces can be designed to support infection control. The occasional occurrence of pandemics in the world is not unusual from a historical perspective. since time immemorial, humans have had to contend with these, but, fortunately, most of those remained local, especially due to a number of factors. first, the global population has been played a significant part in the spread of pandemics, and in earlier days, population were relatively smaller and people were sparsely distributed. secondly, the interaction between different groups of people from different countries and regions was limited as transportation infrastructures were not well developed, until recently. also, urbanization was not as pronounced as it is today, and this played a key role in preventing widespread.

In the post-covid-19 era, there will be an opportunity to prioritize health-giving attributes in the design and operation of the built environment. the fields of urban planning, architecture, and public health will have a key role to play in implementing, promoting, and monitoring healing design strategies and goals. The fields also have an important role to play in making communities more livable, healthy, and resilient. Solving this complex spatial problem with two equally emphasized and opposing focal points, however, will not be possible without clear manifestation of the impact of covid-19 crisis on the steady way of life in the city. as this impact has not been fully displayed yet, the long-term influence of the COVID-19 pandemic on city-shaping can at the present moment be considered at the level of speculation, and, indeed, the reviewed body of literature points to often conflicting views and visions of the post-COVID-19 urbanism and health. the exception is perationalized through several spatial themes on which the most authors have reached a consensus. these topics concern open urban spaces, residential and public building spaces, and urban contents.

References

[1] Zhou F, Yu T, Du R, Fan G, Liu Y, Liu Z, et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *The Lancet*. 2020; 395(10229): 1054-62. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30566-3

[2] Sohrabi C, Alsafi Z, O'Neill N, Khan M, Kerwan A, Al-Jabir A, et al. World Health Organization declares global emergency; A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *Int J Surg*. 2020; 76 ;71-76. https://doi:10.1016/j.ijsu.2020.02.034

[3] WHO (March 11th, 2020). Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID19 -March 2020. https://www.euro.who.int/en/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/news/news/2020/3/who-announces-covid-19-outbreak-a-pandemic

[4] Walls, AC., Park, YJ., Tortorici MA.; Wall, A., McGuire, AT., Veesler, D. Structure, Function, and Antigenicity of the SARS-CoV-2 Spike Glycoprotein. Cell, 181, 281-292. https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.02.058

[5] WHO (January 7th, 2022). Enhancing response to Omicron SARS-CoV-2 variant: Technical brief and priority actions for Member States World Health Organization: Headquarters, Geneva, Switzerland Update #6: 21 January 2022 (updated from previous version, dated 7 January 2022). https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjgqea_v6z2AhURhv0HHRY3CfEQFnoECAcQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.who.int%2Fdocs%2Fdefault-source%2Fcoronaviruse%2F2022-01-21-global-technical-brief-and-priority-action-on-omicron-sars-cov-2-variant.pdf%3Fsfvrsn%3Df3ac8bc3_5%26download%3Dtrue&usg=AOvVaw2amb9y13Ulr-oYbnACjUzi

[6] Qazi, S.; Sheikh, K.; Faheem, M.; Khan, A.; Raza, K. A Coadunation of Biological and Mathematical Perspectives on the Pandemic COVID-19: A Review. Preprints 2020, 2020040007 https://www.preprints.org/manuscript/202004.0007/v1

[7] WHO (February 28th, 2022). WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. https://covid19.who.int/

[8] Alnusairat, S., Al Maani, D., Al-Jokhadar, A. Architecture students' satisfaction with and perceptions of online design studios during COVID-19 lockdown: the case of Jordan universities. Archnet-IJAR: *International Journal of Architectural Research,* 2020, Vol. 15 No. 1, https://doi:10.1108/ARCH-09-2020-0195.

[9] Definition of coronavirus by Merriam-Webster. Merriam-Webster. https://www.merriam-webster.com/dictionary/coronavirus%20disease%202019

[10] Tyrrell DA, Fielder M. Cold wars: the fight against the common cold. 1st ed. Oxford: Oxford University Press; 2002. p. 96. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1124964/

[11] Estola, T. Coronaviruses, a new group of animal RNA viruses. Avian Dis. 1970;14:330–6. https://www.jstor.org/stable/1588476

[12] McIntosh, K. Coronaviruses: A Comparative Review. In: Arber W, Haas R, Henle W, Hofschneider PH, Jerne NK, Koldovský P, Koprowski H, Maaløe O, Rott R, editors. Current topics in microbiology and immunology/Ergebnisse der Mikrobiologie und Immunitätsforschung. Berlin: Springer; 1974. p. 87.https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-66193-8

[13] Kendall EJ, Bynoe ML, Tyrrell DA. Virus isolations from common colds occurring in a residential school. Br Med J. 1962;2:82–6. https://doi.org/10.1136/bmj.2.5297.82

[14] Hamre D, Procknow JJ. A new virus isolated from the human respiratory tract. Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine. Soc Exp Biol Med. 1966; 121:190–3. https://doi.org/10.3181/00379727-121-30734

[15] McIntosh K, Becker WB, Chanock RM. Growth in suckling-mouse brain of "IBV-like" viruses from patients with upper respiratory tract disease. Proc Natl Acad Sci U S A. 1967;58:2268–73. https://doi.org/10.1073/pnas.58.6.2268

[16] McIntosh K, Dees JH, Becker WB, Kapikian AZ, Chanock RM. Recovery in tracheal organ cultures of novel viruses from patients with respiratory disease. Proc Natl Acad Sci U S A. 1967; 57:933–40. https://doi.org/10.1073/pnas.57.4.933

[17] Su S, Wong G, Shi W, Liu J, Lai ACK, Zhou J, Liu W, Bi Y, Gao GF. Epidemiology, Genetic Recombination, and Pathogenesis of Coronaviruses. *Trends Microbiol*. 2016 Jun;24(6):490-502. doi: 10.1016/j.tim.2016.03.003. Epub 2016 Mar 21. PMID: 27012512; PMCID: PMC7125511. https://doi.org/10.1016/j.tim.2016.03.003

[18] Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. N Engl J Med. 2020; 382:727–33. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017

[19] LePan, N. and Schell H. Visualizing the History of Pandemics. 2020. Available from: https://www.visualcapitalist.com/history-of-pandemics-deadliest/

[20] Madhav, N.; Oppenheim, B.; Gallivan, M.; Mulembakani, P.; Rubin, E.; Wolfe, N. Pandemics: Risks, Impacts, and Mitigation. 2017, pp. 315–345. Available online: https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-1-4648-0527-1_ch17

[21] Thompson, R.N.; Thompson, C.P.; Pelerman, O.; Gupta, S.; Obolski, U. Increased frequency of travel in the presence of crossimmunity may act to decrease the chance of a global pandemic. *Philos. Trans. R. Soc. B* 2019, 374, 20180274. https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0274

[22] Duhl, L.J., A.K. Sanchez. Healthy cities and the city planning process: a background document on links between health and urban planning. 1999, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/108252/E67843.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[23] Helen V. S. Cole, Isabelle Anguelovski, Francesc Baró, Melissa García-Lamarca, Panagiota Kotsila, Carmen Pérez del Pulgar, Galia Shokry & Margarita Triguero-Mas (2020) The COVID-19 pandemic: power and privilege, gentrification, and urban environmental justice in the global north, *Cities & Health*, https://doi:10.1080/23748834.2020.1785176

[24] Ferrer-i-Carbonell, A., & Frijters, P. How important is methodology for the estimates of the determinants of happiness? *The Economic Journal,* 2004, 114(497), 641–659. https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2004.00235.x

[25] Eltarabily, S.; Elghezanwy, D. Post-pandemic cities—The impact of COVID-19 on cities and urban design. *Archit. Res.* 2020, 10,75–84. https://doi.org/10.5923/j.arch.20201003.02

[26] Honey-Rosés, J.; Anguelovski, I.; Chireh, V.K.; Daher, C.; Konijnendijk van den Bosch, C.; Litt, J.S.; Nieuwenhuijsen, M.J. The impact of COVID-19 on public space: An early review of the emerging questions—Design, perceptions and inequities. *Cities Health* 2020, 1–17. https://doi.org/10.1080/23748834.2020.1780074

[27] Nikunj, M. Disaster and its impact on mental health: A narrative review. *J Family Med Prim Care*. 2019 Oct; 8(10): 3090–3095. https://dx.doi.org/10.4103%2Fjfmpc.jfmpc_893_19

[28] Emily, E. and Sy Atezaz, S. Past Epidemics, Natural Disasters, COVID19, and Mental Health: Learning from History as we Deal with the Present and Prepare for the Future. *Psychiatr Q*. 2020; 91(4): 1121–1133. https://dx.doi.org/10.1007%2Fs11126-020-09808-4

[29] Sheek-Hussein, M., Abu-Zidan, F.M. & Stip, E. Disaster management of the psychological impact of the COVID-19 pandemic. *International Journal of Emergency Medicine,* 2021, 14, 19. https://doi.org/10.1186/s12245-021-00342-z

[30] Clemente-Suárez, V.J.; Martínez-González, M.B.; Benitez-Agudelo, J.C.; Navarro-Jiménez, E.; Beltran-Velasco, A.I.; Ruisoto, P.; Diaz Arroyo, E.; Laborde-Cárdenas, C.C.; Tornero-Aguilera, J.F. The Impact of the COVID-19 Pandemic on Mental Disorders. A Critical Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18,10041. https://doi.org/10.3390/ijerph181910041

[31] Platto, S.; Wang, Y.; Zhou, J.; Carafoli, E. History of the COVID-19 pandemic: Origin, explosion, worldwide spreading. *Biochem. Biophys. Res. Commun*. 2021, 538, 14–23. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2020.10.087

[32] Fiorillo, A., Gorwood, P. The consequences of the COVID-19 pandemic on mental health and implications for clinical practice. *European Psychiatry*, Volume 63, Issue 1, 2020, e32.DOI: https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2020.35

[33] Moreno, C., Wykes, T., Galderisi, S., Nordentoft, M., Crossley, N., Jones, N., & Arango, C. How mental health care should change as a consequence of the COVID-19 pandemic. *The Lancet Psychiatry*, 2020, 7(9), 813–824. https://doi.org/10.1016/S2215-0366(20)30307-2

[34] Brooks, S. K., Webster, R. K., Smith, L. E., Woodland, L., Wessely, S., Greenberg, N., & Rubin, G. J. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: Rapid review of the evidence. *The Lancet*, 2020. 395(10227), 912–920. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8

[35] Li, J., Yang, Z., Qiu, H., Wang, Y., Jian, L., Ji, J., & Li, K. Anxiety and depression among general population in China at the peak of the COVID-19 epidemic. World Psychiatry, 2020, 19(2), 249–250. https://doi.org/10.1002/wps.20758

[36] Patrick, S. W., Henkhaus, L. E., Zickafoose, J. S., Lovell, K., Halvorson, A., Loch, S., & Davis, M. M. (2020). Well-being of parents and children during the COVID-19 pandemic: A National Survey. *Pediatrics*, 2020, 146(4), Article e2020016824. https://doi.org/10.1542/peds.2020-016824

[37] Rogowska, A. M., Ku´snierz, C., & Bokszczanin, A. Examining anxiety, life satisfaction, general health, stress and coping styles during COVID-19 pandemic in Polish sample of university students. *Psychology Research and Behavior Management,* 2020, 13, 797–811. https://doi.org/10.2147/PRBM.S266511

[38] Skapinakis, P., Bellos, S., Oikonomou, A., Dimitriadis, G., Gkikas, P., Perdikari, E., & Mavreas, V. Depression and its relationship with coping strategies and illness perceptions during the COVID-19 lockdown in Greece: A cross-sectional survey of the population. *Depression Research and Treatment*, 2020, 3158954. https://doi.org/10.1155/2020/3158954

[39] White, R. G., & Van Der Boor, C. Impact of the COVID-19 pandemic and initial period of lockdown on the mental health and well-being of adults in the UK. *BJPsych Open*, 2020, 6(5), Article e90. https://doi.org/10.1192/bjo.2020.79

[40] Giles-Corti, B., Vernez-Moudon, A., Reis, R., Turrell, G., Dannenberg, A. L., Badland, H., & Stevenson, M. (2016). City planning and population health: A global challenge. *The Lancet*, 388(10062), 2912–2924. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30066-6

[41] Hamidi, S., Ewing, R., Tatalovich, Z., Grace, J. B., & Berrigan, D. Associations between urban sprawl and life expectancy in the United States. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(5), Article 861. https://doi.org/10.3390/ijerph15050861

[42] Litman, T. Pandemic-resilient community planning. Retrieved from Victoria, 2020, Canada: https://www.vtpi.org/PRCP.pdf.

[43] Mouratidis, K. Built environment and leisure satisfaction: The role of commute time, social interaction, and active travel. *Journal of Transport Geography*, 2019, 80, Article 102491. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102491

[44] Stevenson, M., Thompson, J., de S´a, T. H., Ewing, R., Mohan, D., McClure, R., & Woodcock, J. Land use, transport, and population health: estimating the health benefits of compact cities. *The Lancet,* 2016, 388(10062), 2925–2935. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30067-8

[45] Wang, F., & Wang, D. Place, geographical context and subjective well-being: State of art and future directions. In Mobility, sociability and well-being of urban living (pp. 189–230). 2016.Berlin: Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-48184-4_10

[46] Connolly, C.; Ali, S.H.; Keil, R. On the relationships between COVID-19 and extended urbanization. *Dialogues Hum. Geogr.* 2020, 10, 213–216. https://10.1177%2F2043820620934209

[47] Hamidi, S., Sabouri, S., & Ewing, R. Does density aggravate the COVID-19 Pandemic? *Journal of the American Planning Association,* 2020, 86(4), 495–509. https://doi.org/10.1080/01944363.2020.1777891

[48] Sharifi, A.; Khavarian-Garmsir, A.R. The COVID-19 pandemic: Impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management. *Sci. Total Environ*. 2020, 749, 142391. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142391

[49] Zimring C, Denham ME, Jacob JT, et al. Understanding the Role of Health Care Facility Design in the Acquisition and Prevention of HAIs. Prepared by Georgia Institute of Technology, Emory School of Medicine, and RTI International under contract HHSA290201000002411. AHRQ Publication No. 13-0053-EF. Agency for Healthcare Research and Quality; 2013. https://www.ahrq.gov/sites/default/files/publications/files/haidesign-summary.pdf

[50] Heylighen A., Van der Linden V., Van Steenwinkel I. Ten questions concerning inclusive design of the built environment. *Building and Environment*, 114, (2016) 507-517. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.008

[51] Basnak, M., Tauke, B., Weidemann, S. Universal design in architectural education: who is doing It? How is it being done? in: A. Aksamija, J. Haymaker, A. Aminmansour (Eds.), Future of Architectural Research. Proceedings of the Architectural Research Centers Consortium ARCC 2015 Conference, PerkinsþWill, 2015, pp. 670e678. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjG5IS4yaT2AhVFhP0HHZmkA3UQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.brikbase.org%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FARCC2015_11_basnak.pdf&usg=AOvVaw2AHL3e7vJ3BKw81eXEsOMc

[52] Van der Linden, V., Dong, H., Heylighen, A. From accessibility to experience: opportunities for inclusive design in architectural practice, *Nordic J. Archit. Res.* 2016, 28 (2), 33-58. https://repository.lboro.ac.uk/articles/journal_contribution/From_accessibility_to_experience_Opportunities_for_inclusive_design_in_architectural_practice/9345863

[53] Heylighen, A., About the nature of design in universal design, Disabil. *Rehabilitation* 2014, 36 (16), 1360-1368. https://doi.org/10.3109/09638288.2014.932850

[54] AbouKorin, S. A. A., Han, H., & Mahran, M. G. N. Role of urban planning characteristics in forming pandemic resilient cities – case study of Covid-19 impacts on European cities within England, Germany and Italy. *Cities*, 2021, 118, Article 103324. https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103324

[55] Mouratidis, K., & Poortinga, W. Built environment, urban vitality and social cohesion: Do vibrant neighborhoods foster strong communities? *Landscape and Urban Planning*, 2020, 204, Article 103951. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103951

[56] Næss, P. In Meta-analyses of built environment effects on travel: No new platinum standard.2019. https://doi.org/10.1177/0739456x19856425

[57] Kent, J. L., & Thompson, S. The three domains of urban planning for health and well-being. *Journal of Planning Literature*, 2014, 29(3), 239–256. https://doi.org/10.1177/0885412214520712

[58] Mouratidis, K. Urban planning and quality of life: A review of pathways linking the built environment to subjective well-being. *Cities*, 2021, 115, Article 103229. https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103229

[59] Pfeiffer, D., & Cloutier, S. Planning for happy neighborhoods. *Journal of the American Planning Association,* 2016, 82(3), 267–279. https://doi.org/10.1080/01944363.2016.1166347

[60] Zhang, N., Jia, W., Wang, P., Dung, C.-H., Zhao, P., Leung, K., & Li, Y. Changes in local travel behaviour before and during the COVID-19 pandemic in Hong Kong. Cities, 2021, 112, Article 103139. https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103139

[61] Bucsky, P. Modal share changes due to COVID-19: The case of Budapest. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives,* 2020, 8, Article 100141. https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100141

[62] Jenelius, E., & Cebecauer, M. Impacts of COVID-19 on public transport ridership in Sweden: Analysis of ticket validations, sales and passenger counts. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2020, 8, Article 100242. https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100242

[63] Shamshiripour, A., Rahimi, E., Shabanpour, R., & Mohammadian, A. How is COVID-19 reshaping activity-travel behavior? Evidence from a comprehensive survey in Chicago. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives,* 2020, 7, Article 100216. https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100216

[64] Guida, C., & Carpentieri, G. Quality of life in the urban environment and primary health services for the elderly during the Covid-19 pandemic: An application to the city of Milan (Italy). *Cities,* 2021, 110, Article 103038. https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103038

[65] Shaer, A., Rezaei, M., Moghani Rahimi, B., & Shaer, F. Examining the associations between perceived built environment and active travel, before and after the COVID-19 outbreak in Shiraz city, Iran. *Cities*, 2021, 115, Article 103255. https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103255

[66] Douglas, M., Katikireddi, S. V., Taulbut, M., McKee, M., & McCartney, G. Mitigating the wider health effects of covid-19 pandemic response. *BMJ*, 2020, 369. https://doi.org/10.1136/bmj.m1557

[67] Poortinga, W., Bird, N., Hallingberg, B., Phillips, R., & Williams, D. The role of perceived public and private green space in subjective health and wellbeing during and after the first peak of the COVID-19 outbreak. *Landscape and Urban Planning*, 2021, 211, Article 104092. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104092

[68] Shoari, N., Ezzati, M., Baumgartner, J., Malacarne, D., & Fecht, D. Accessibility and allocation of public parks and gardens in England and Wales: A COVID-19 social distancing perspective. PLOS ONE, 2020, 15(10), Article e0241102. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241102

[69] Ugolini, F., Massetti, L., Calaza-Martínez, P., Cariˇnanos, P., Dobbs, C., Ostoi´c, S. K., & Sanesi, G. Effects of the COVID-19 pandemic on the use and perceptions of urban green space: An international exploratory study. *Urban Forestry & Urban Greening,* 2020, 56, Article 126888. https://doi.org/10.1016

[70] Xie, J., Luo, S., Furuya, K., & Sun, D. Urban parks as green buffers during the COVID-19 pandemic. *Sustainability,* 2020, 12(17), 6751. https://doi.org/10.3390/su12176751

[71] Hu, M., Roberts, J. D., Azevedo, G. P., & Milner, D. The role of built and social environmental factors in Covid-19 transmission: A look at America's capital city. *Sustainable Cities and Society,* 2021, 65, Article 102580. https://doi.org/10.1016/j. scs.2020.102580

[72] Amerio, A., Brambilla, A., Morganti, A., Aguglia, A., Bianchi, D., Santi, F., & Capolongo, S.. COVID-19 lockdown: Housing built environment's effects on mental health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17 (16). https://doi.org/10.3390/ijerph17165973

[73] Healthcare facilities: managing operations during the COVID-19 pandemic. Centers for Disease Control and Prevention. Updated March 17, 2021. Accessed March 24, 2021. https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/guidance-hcf.html

[74] Checklist to prepare physician offices for COVID-19. American Academy of Family Physicians. Accessed March 24, 2021. https://www.aafp.org/dam/AAFP/documents/patient_care/public_health/COVID-19%20Office%20Prep%20Checklist.pdf

[75] Boyce, J.M. Modern technologies for improving cleaning and disinfection of environmental surfaces in hospitals. *Antimicrob Resist Infect Control* 5, 10 (2016). https://doi.org/10.1186/s13756-016-0111-

[76] Wilke, H., Badke-Schaub, P., Thoring, K. The healthcare design dilemma: perils of a technology-driven design process for medical products. *International Design Conference – Design. 2226 Socio-Technical Issues in Design* 2020. pp.2217-2226. https://doi.org/10.1017/dsd.2020.133

[77] Chen, L. Rethinking the timescape of home: Domestic practices in time and space. *Progress in Human Geography*. 2020. Research Article. https://doi.org/10.1177%2F0309132520923138

[78] Thirunavukkarasu, K.; Kanthasamy, E.; Gatheeshgar, P.; Poologanathan, K.; Rajanayagam, H.; Suntharalingam, T.; Dissanayake, M. Sustainable Performance of a Modular Building System Made of Built-Up Cold-Formed Steel Beams. *Buildings* 2021, 11, 460. https://doi.org/10.3390/buildings11100460

[79] Naglaa A. Megahed, Ehab M. Ghoneim, Antivirus-built environment: Lessons learned from Covid-19 pandemic, Sustainable Cities and Society, Volume 61, 2020, 102350, ISSN 2210-6707, https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102350.

[80] Constable, H. How do you build a city for a pandemic? BBC, 20 April,2020. https://www.bbc.com/future/article/20200424-how-do-you-build-acity-for-a-pandemic

[81] Rodi´c, I. and Wilson, D. Resolving Governance Issues to Achieve Priority Sustainable Development Goals Related to Solid Waste Management in Developing Countries. *Sustainability* 2017, 9(3), 404; https://doi.org/10.3390/su9030404

[82] Von Seidlein, L., Alabaster, G., Deen, J., and Knudsen, J. Crowding has consequences: Prevention and management of COVID-19 in informal urban settlements, *Building and Environment*, 2021, 188:107472. https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.buildenv.2020.107472

[83] MASS Design Group. Redesigning Hospital Spaces on the Fly to Protect Healthcare Workers (fact sheet, MASS Design Group, April 28, 2020, 9, https://massdesigngroup.org/sites/default/files/multiple-file/2020-/Redesigning%20Hospital%20Spaces%20on%20the%20Fly%20to%20Protect%20Healthcare%20Workers_4.pdf.

[84] Jeremy, H. How COVID-19 Could Inform the Future of Hospital Design, Smithsonian, April 17, 2020, https://www.smithsonianmag.com/innovation/how-covid-19-could-inform-future-hospitaldesign-180974697/.

[85] Jeanne, K. *Rise of the Modern Hospital: An Architectural History of Health and Healing*, 1870-1940 (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2017), pp.701 of 8534, Kindle. https://www.civilwarmed.org/pavilion-hospitals/

[86] Anthers, E. *The Great Indoors: The Surprising Science of How Buildings Shape Our Behavior, Health, and Happiness* (New York: Farrar, Straus, and Giroux, 2020), pp. 1320 of 4524, Kindle. https://dbrl.bibliocommons.com/v2/record/S18C815084

[87] "The Innovative Design of Civil War Pavilion Hospitals," National Museum of Civil War Medicine, February 20, 2018, https://www.civilwarmed.org/pavilion-hospitals/.

[88] Kisacky, J. Rise of the Modern Hospital: An Architectural History of Health and Healing (Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, 2017), https://upittpress.org/books/9780822944614/

[89] (About EDAC: Evidence-Based Design Accreditation and Certification," Center for Health Design, accessed July 7, 2020, https://www.healthdesign.org/certification-outreach/edac/about

Fayrouz Bahloul
Imp spatiotemporal analysis of precipitation and their relationship with climate indices (Soummam Basin, Algeria)
International Journal Water Sciences and Environment Technologies
Vol. (vii), Issue 1, March 2022, pp. 18-35
ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access
www.jiste.org
Scientific Press International Limited
Received: 30 January 2022 / Revised: 28 February 2022 / Accepted: March 2022 / Published: March 2022

Imp spatiotemporal analysis of precipitation and their relationship with climate indices (Soummam Basin, Algeria)

Fayrouz Bahloul[1]
[1] Laboratoire de recherche en biochimie, biophysique, biomathématiques et scientométrie "L3BS", Université Abderrahmane Mira Bejaia, Algérie,

Abstract

Drought is a natural and repetitive phenomenon, characterized by a prolonged and abnormal lack of humidity that leads to negative impacts on water resource management and planning. This work provides an analysis of drought in terms of frequency, persistence and severity. To this end, the analysis is based on monthly precipitation data collected during the period 1967 to 2011 in Soummam basin located in the north eastern Algeria. Based on SPI values at different time scales (3-, 6-, 12- and 24-months) and statistical methods (Pettitt and Mann-Kendall), the results show alternating dry and wet periods and an uneven in the spatial and temporal distribution of rainfall. The region marked by a long period of deficit since the 1970s and two break points was detected, one in 1972 indicates the decline in the precipitations, unlike the 2001 break point that show an increase in rainfall. To explain this variation, a correlation analysis with four climate indices was performed using the Spearman correlation. It appears that the MO and NAO are the dominant modes on annual and monthly scales, but it is above all the Mediterranean Oscillation (MO) that affects the rainfall regime, thus explaining one of the causes of this variability, namely the decrease in rainfall from the 1970s and its increase from the 2000s onwards

Key Words: Teleconnection pattern; Circulation Index; Soummam basin; spatiotemporal variability; Standardized Precipitation Index; statistical tests

Analyse spatio-temporelle des précipitations et leur relation avec les indices climatiques (bassin de la Soummam, Algérie)

Résumé

La sécheresse est un phénomène naturel et répétitif, caractérisé par un manque d'humidité prolongé et anormal qui entraîne des impacts négatifs sur la gestion et la planification des ressources en eau. Ce travail fournit une analyse de la sécheresse en termes de fréquence, persistance et sévérité. A cette fin, l'analyse est basée sur les données de précipitations mensuelles collectées pendant la période 1967 à 2011 dans le bassin de la Soummam situé dans le nord-est de l'Algérie. Sur la base des valeurs SPI à différentes échelles de temps (3, 6, 12 et 24 mois) et des méthodes statistiques (Pettitt et Mann-Kendall), les résultats montrent une alternance de périodes sèches et humides et une inégalité dans la distribution spatiale et temporelle des précipitations. La région est marquée par une longue période de déficit depuis les années 1970 et deux points de rupture ont été détectés, celui de 1972 indique le déclin des précipitations, contrairement au point de rupture de 2001 qui montre une augmentation des précipitations. Pour expliquer cette variation, une analyse de corrélation avec quatre indices climatiques a été réalisée en utilisant la corrélation de Spearman. Il apparaît que la MO et la NAO sont les modes dominants aux échelles annuelle et mensuelle, mais c'est surtout l'oscillation méditerranéenne (MO) qui affecte le régime pluviométrique, expliquant ainsi une des causes de cette variabilité, à savoir la diminution des précipitations à partir des années 1970 et leur augmentation à partir des années 2000.

Mots Clés : schéma de téléconnexion ; Indice de circulation ; bassin de la Soummam ; variabilité spatio-temporelle ; Indice de précipitation standardisé ; tests statistiques

[1] Corresponding author: bahloulfayrouz@hotmail.com

INTRODUCTION

Climate has always fluctuated over time under the direct or indirect influence of natural forcing. Unfortunately, anthropogenic activities have compromised this fragile balance and disrupted the climate due to the amplification of greenhouse gases in the atmosphere, thus increasing the frequency and severity of risks and natural disasters. In all its reports, the IPCC [1,2] describes these changes as very serious and sounds the alarm about the extent of these disturbances with the alarming occurrence of extreme events that could lead to future global instability with the gradual lack of basic resources such as water and food.

In Africa in particular, the notion of climate change is primarily attributed to a decrease in precipitation, which has been established as the key climatic factor in many studies [3–5]. In recent decades, precipitation has varied considerably, contributing to droughts and occasionally floods. The occurrence of these extreme events involves a potential change in the climate regime. This decrease in precipitation has several consequences, most of which are drastic. Several studies have been carried out in this context, analyses of precipitation over long series have become essential to explain the decrease in precipitation, the persistence and impacts of droughts on water resources and agriculture [6],[7] as well as the factors related to these disturbances such as the relationship with the general atmospheric circulation [8]. The analysis of precipitation variability has been the subject of several studies around the Mediterranean basin at different spatiotemporal scales. The region is classified as a climate change sensitive area and identified as a hot spot [9], showing a significant decrease in precipitation since the 1970s [10]. In the IPCC (2007) report, the southern Mediterranean basin will increasingly experience a pronounced aridity. Moreover, the temperatures and rainfall projected by general circulation models [11] have shown that water will become increasingly scarce while temperatures will continue to rise. According to the 2007 IPCC report a number of countries, especially arid and semi-arid, will face a real problem of water resources and water stress between 2020 and 2075.

In Algeria, a Mediterranean country where aridity is dominant, the studies already carried out on the spatio-temporal evolution of rainfall show a decreasing trend in rainfall since the 1970s [12–14]. The most persistent were during the 1980s to 1990s and the year 1988/1989 was listed as the driest one for the country [15–18]. Some authors showed a return to wet episodes from the early 2000s [19,20]. All these studies use different time-series and methodological methods to assess trends and ruptures, making comparisons between studies exceedingly difficult [6,21]. Thus, the country is already experiencing an increasingly alarming water deficit and is facing this almost endemic shortage [22]. A decrease of 10% in rainfall with a surface water deficit of 15% is observed [23]. The lack of this vital resource is directly linked to the high spatial and temporal variability of precipitation, which results in violent floods and water-free cycles that can last for months or even several consecutive years. Four main categories of drought were identified [24]: meteorological drought related to the number of rain-free days for different well-defined thresholds for each country, agricultural drought related to the demand for water for crop growth, hydrological drought related to the recharge of surface or underground reservoirs, socio-economic drought related to supply and demand and lately the ecological drought [25]. The drought is a prolonged period of water shortage, ranging from the absence of precipitation to a reduction in the supply of surface or underground reservoirs. Each drought must be considered as a particular case and can be defined as a phenomenon that sets in and lasts for months or even years, causing a water deficit. This deficit can be aggravated by the excessive increase of water consumption by individuals and industry. To define a drought, several characteristics must be determined, namely its onset, decrease, intensity, duration, frequency and magnitude [26]. All this variation in the precipitation regime in the Mediterranean basin has been explained by the significant influence of the general atmospheric circulation by several authors, such as the North Atlantic Oscillation (NAO) [27], El Niño-Southern Oscillation (ENSO) [28], Mediterranean Oscillation (MO) [29] and the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) [30]. In Algeria, there are few studies demonstrating the relationship between variations in the precipitation regime and general trends of atmospheric circulation. The study by Meddi et al. (2010) [28], shows that the temporal variability of annual precipitation in the west of the country is influenced by the ENSO. The study carried out by Taibi et al. (2014) [6], shows that the seasonality of rainfall is influenced by the MO, whose influence is mainly felt in winter, as well as a significant relationship between this mode and the monthly rainfall in the north-west of the country. However, this relationship is not observed in the Eastern and Eastern Highlands regions. Taibi et al., 2015[31]; show in their work, the influence of the MO mode on daily precipitations in the Cheliff basin (north western algeria). A significant negative correlation observed since the mid-1970s due to the positive phase of this mode.

The main objective of the present study is to detect where precipitation showed the greatest variation between 1967 and 2011 for 23 stations in the studied basin and to look for a relationship between the different atmospheric circulation patterns that gave rise to these precipitation trends. The content is organized as follows. In Section 2 is presented the study area and the precipitation database, as well as the methods used. In Section 3 the results are described. And in Section 4 the discussion and the conclusions are presented.

MATERIALS AND METHODS

Study Area Presentation and Data Set

The Soummam basin covers an area of 9125 km² and is located in the northeast of Algeria between 3°38' and 5°38' east and 35°45' and 36°45' north. It joins the Mediterranean through the Gulf of Bejaia while most of its territory is remote on the continent. It consists of three major regions, the Bouïra Plateau, the Setif Plateau and the Soummam Valley. This basin is bounded to the north and west by the mountain ranges of Djurdjura which stretch to the Mediterranean Sea, to the east by the Little Kabylia Mountains (Babor Mountain), to the south and to the southeast by the Hodna Mountains. The average length of the hydrographic network is 726 km. The climate is generally Mediterranean, where most of the rainfall occurs in winter ranging from 350 mm in the southeast in Setif and reach 1000 mm in the north on the coast. The Soummam Valley is subject to a humid climate with seasonal temperature variations (the average annual temperature varies from 13° to 19°). In contrast, in Setif and Bouïra, the climate is continental and dry, with cold winters and hot summers. The southern part of the Setif Plateau is sub-humid to semi-arid. The data used are the monthly precipitation time series of 23 stations distributed on the study area during the period 1967 to 2011 (Figure 1).
The percentage of monthly missing data in the database is 1.29 to 9.63%. Before data processing, the implementation of the missing data was ensured with Amelia multiple imputations method [33] and was subjected to homogeneity tests for a reliable database [34].

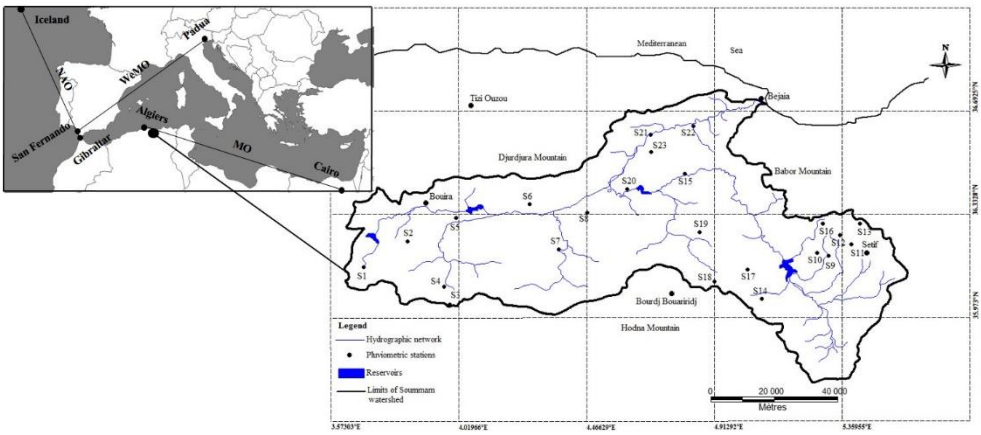


Figure 1. Location of the Soummam watershed, its hydrographic network, position of the selected rainfall stations and measurement points of the different circulation modes considered represented in medallion.

For climate indices, the NAO and MO data used were provided by the Climatic Research Unit (available on http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/pci.htm). The NAO values considered in this study are those between Gibraltar and Iceland [33]. The MO values are defined by the dipole Algiers and Cairo [35]. The WeMO Index was acquired from the Group of Climatology at the University of Barcelona developed by Martin-Vide and Lopez-Bustins (2006) using the dipole Padua in northern Italy and San Fernando in southwest Spain.

METHODS

To conduct the study, these approaches are applied: (i) method based on the analysis of the evolution of precipitation indices (SPI) to characterize droughts and humidity in terms of intensity, frequency, duration, amplitude and determine wet and dry periods; (ii) a method based on the use of statistical tests to detect ruptures and trends, and (iii) correlations with atmospheric circulation models such as the NAO, the MO and the WeMO.

Standard Precipitation Index (SPI)

This index, developed by McKee, Doesken and Kleist (1993) [36], quantifies the precipitation deficit for multiple time scales such as for periods of 3, 6, 9 and 12 months, compared to these same months historically [37]. For a given region, the index is based on a long-term rainfall record, usually at least 30 years, and on the cumulative probability of rainfall for different time scales, then adjusted to a gamma distribution that is transformed to a

standard normal (mean = 0 and SD = 1). This is achieved through a process of maximum likelihood estimation of the gamma distribution parameters, β and γ (eq. 1)

$$P(x) = \frac{x^{\gamma-1} \exp(-x/\beta)}{\beta^{\gamma}\Gamma(\gamma)} \quad \gamma > 0 \qquad (1)$$

Where:
P(x) is the probability density frequency (p.d.f.) equation and x is the variable.
α> 0: is a shape parameter.
β>0: is a scale parameter and x> 0 is the amount of precipitation.
Γ (γ): is the gamma function, defined by:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\gamma} y^{\gamma-1} e^{-y}\, dy \qquad (2)$$

Fitting the distribution to the data requires the estimation of γ and β. Using Thom's (1958) approximation, these parameters can be estimated as follows:

$$\gamma = \frac{1}{4A}\left(1 + \sqrt{\frac{4A}{3}}\right) \qquad \beta = \frac{\bar{x}}{\gamma} \qquad (3)$$

with:

$$A = Ln\,(\bar{x}) - \frac{\sum Ln(x)}{n}$$

$\bar{x}$: Average value of the amount of precipitation.
n: measurement number of precipitations.
x: amount of precipitation in a sequence of data.

Integrating the probability density function with respect to x gives the expression G (x) for the cumulative probability given below:

$$G(x) = \int_0^x g(x)\, dx = \frac{1}{\beta^{\gamma}\Gamma(\gamma)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}\, dx \qquad (4)$$

By replacing t = x/β, the equation (4) is reduced to:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t}\, dt \qquad (5)$$

It is possible to have several zero values in a sample. In order to take into account, the probability of zero values, since the Gamma distribution is not defined for x=0, the cumulative probability function for Gamma distribution is modified as follows:

$$H(x) = q + (1-q)G_x \qquad (6)$$

q: is the probability of zero precipitation, calculated using the following equation:

$$q = \frac{m}{n} \qquad (7)$$

m: number indicating, how many times the precipitation was zero in data series.
n: number of observations of precipitation in data series.

Finally, the cumulative probability distribution is transformed into normal distribution to give the SPI. After the approximate conversion provided by Abramowitz and Stegun (1965), it results in that:

For 0 < H(x) <0.5

$$z = SPI = -(t - \frac{C_0 + C_1\, t + C_2\, t^2}{1 + d_1\, t + d_2\, t^2 + d_3\, t^3}) \quad (8)$$

$$t = \sqrt{ln\,(\frac{1}{(H(x))^2})}$$

For 0.5 < H(x) <1

$$z = SPI = +(- \frac{C_0 + C_1\, t + C_2\, t^2}{1 + d_1\, t + d_2\, t^2 + d_3\, t^3}) \quad (9)$$

$$t = \sqrt{ln\,(\frac{1}{(1-H(x))^2})}$$

As for the Gamma distribution, the Log-normal distribution is asymmetrically positive and not negative, it is only a transformation of the data, i.e. y=ln (x), supposing that the resulting transformed data are described by Gaussian distribution. By fitting the Log-normal distribution to the sample mean and the variance of the logarithmically transformed data μ(y) and σy^2, the SPI becomes:

$$SPI = z = \frac{\ln(x) - \mu_y}{\sigma_y} \quad (10)$$

x: total precipitation of a period (mm).
μ: Historical average precipitation of the period (mm).
σ: Historical standard deviation of precipitation for the period (mm).

The Gamma distribution tends toward normal as the shape parameter α tends toward infinity. It is possible to use the normal probability distribution instead of Gamma, which is easier to compute and perhaps more accurate due to a better fit to the data. In this case, the SPI simply becomes:

$$SPI = z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (11)$$

The SPI parameter measures the qualitative condition of a drought or humidity allows to assess a precipitation deficit or excess based on the long-term precipitation history corresponding to the time period studied [38]. The SPI is calculated by dividing the difference between the normalized precipitation and its average over a specific period by the standard deviation of the same period (eq.12).

$$SPI = \frac{X_{ij} - X_{im}}{\sigma} \quad (12)$$

X_{ij}: precipitation considered (annual, seasonal, and monthly) at the ith raingauge station and jth observation.
X_{im}: average precipitation for the period considered.
σ: standard deviation of the period under consideration.
The results give seven classes of the SPI, as shown in Table 1.

Table 1. SPI classification [36]

Wet classes	SPI values	Drought classes	SPI values
Extremely wet	2.0 and more	Near normal	−0.1 to −0.99
Severely wet	1.5 to 1.99	Moderately dry	−1.0 to −1.49
Moderately wet	1.0 to 1.49	Severely dry	−1.5 to −1.99
Near normal	0.1 to 0.99	Extremely dry	−2.0 and less

The advantage of the SPI is that it can be measured on different time scales. In this work, the SPI values were calculated for 3, 6, 12- and 24-months' time scales. For each of these scales, the magnitude of drought or humidity was calculated as follows (eq.13):

$$M = \pm\left(\sum_{j=1}^{j=x} SPI_{ij}\right) \quad (12)$$

Where i represents the time scale, j begins with the first month of a dry or wet event and continues to increase until the end of the event (month x). McKee (1993) [36], defines an episode of drought for a time scale i, as a period during which SPI is continuously negative and the SPI reaches the value −1.0 or less and ends when this value becomes positive (likewise for humidity). The magnitude calculation provides an estimate of the weight of dryness or moisture and is expressed in units of months.

Pettitt Test

The Pettitt test [39] is used to detect a rupture in the rainfall series at an unknown time. This test is sensitive to changes in the mean and it is based on two hypotheses: H0 no change and H1 when a point of change exists. If the null hypothesis of homogeneity of the series is rejected, it proposes an estimate of a single break date.
The test is based on the signs of the differences between the values that make up the sample. A resulting time series is constructed. The p-value of the statistic indicates whether this rupture is statistically significant at the threshold.
In our work, it was used to detect the suspected single rupture in the rainfall time series for the twenty-three rainfall stations in the Soummam basin over the period 1967–2011.

Mann Kendall Test

Parametric and non-parametric tests are used to evaluate whether a change in a data set is significant or not. Thus, the parametric test assumes normality and homogeneity of variance along the series over a sufficiently long period (> 100 years) and with no gaps. The absence of some of these criteria has led us to opt for the Mann Kendall's Non-Parametric Test. Mann [40] and Kendall [41], widely used in climate series trend analyses [42]. This test is used in two cases. The first, when the series has an observation number less than or equal to 9, the test is based on the S statistic, or its absolute value is compared to Mann-Kendall's probability of a non-parametric trend test [43], to define the existence or not of a monotonous trend at the significant α level. If the series has a number equal to or greater than 10, the test is based on the Z statistic or its absolute value is compared to the normal cumulative distribution to see if there is a significant trend or not at the α level. In both cases, the negative or positive value of S or Z indicates a decreasing or increasing trend, respectively. This test is completed by the Sen's estimate which gives the true slope of the linear trend [44].

Spearman Correlation

In order to show the influence of the general atmospheric circulation on the evolution of the rainfall regime in the study area, a correlation analysis between the standardized precipitation indices at different time steps with the climatic indices was tested. The modes considered are: the MO, the NAO and the WeMO because of their influence on rainfall patterns in several regions of the Mediterranean basin. The correlation is made using Spearman's Rank correlation [45]. It is a non-parametric measure of the statistical dependence between the rankings of two variables, useful when the series, such a precipitation series, are not Gaussian and then the Pearson's coefficient of correlation should not be used.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Standardized Precipitation Index Approach

Description of Drought and Wet Months in the Soummam Basin

At the global scale of the basin, meteorological drought was assessed by reconstructing its history during the study period. Several time steps were considered using the Standardized Precipitation Index (SPI) approach calculated for 23 stations during the 1967–2011 common registration period (September 1966 to August 2011) by varying the time scales of the index 3, 6, 12 and 24 months. The rainfall taken is the average of the 23 stations taken in this study. Figure 2 (a to d) shows the SPI values obtained for the different scales respectively.

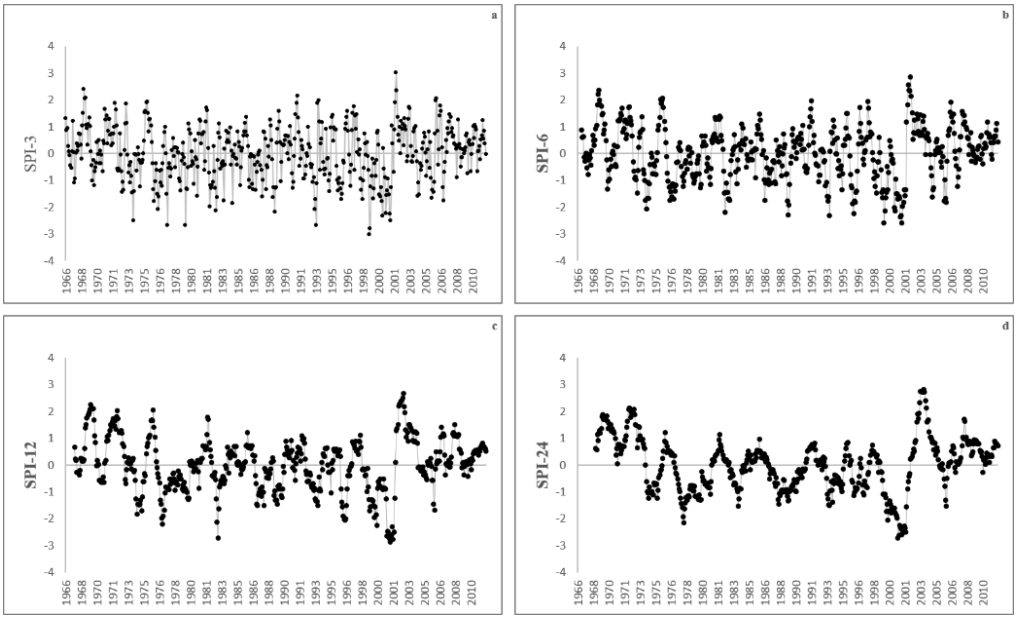


Figure 2. (a–d): Chronological changes in the SPI based on total monthly precipitation in the Soummam basin at scales 3, 6, 12 and 24 months (September 1966 to August 2011).

Fluctuations in the drought and wet conditions are similar in all time scales during the study period, but the frequency of the SPI series was larger in short time scales (3-, 6-months) than in long time scales (12-, 24-months). In general, the evolution of the SPI series showed alternating between dry and wet episodes indicate different categories of drought (wet). The SPI showed larger severity in drought episodes in all the period and for all time scales.

Identification of Drought and Wet Events in the Soummam Basin

Major drought and wet events were identified according to the magnitude reached for each event and the duration in month (Table 2) at the basin scale for the period 1967–2011 for the long-time scales.

At 24-month time scale, 9 drought episodes were recorded, the major drought occurred in Soummam basin between February 1999 and March 2002. This exceptional drought lasted for 38 consecutive months, reaching the maximum severity between September 1999 and November 2001, where extremely dry conditions dominated during 27 consecutive months. Moreover, the SPI identify two wettest events. The first, between August 1968 and November 1973, which lasted for 64 consecutive months reaching the extremely wet conditions during 13 consecutive months. The second event, between April 2002 and April 2005 lasted for 37 consecutive months and reaching the extremely wet conditions during 16 consecutive months December 2002 to March 2004. Other two drought events identified, from February 1977 to December 1980 for 47 consecutive months and reaching the severe drought conditions for 12 consecutive months; and the other event from February 1987 to January 1991 lasted for 48 consecutive months reaching the severe drought condition for 6 consecutive months.

Table 2. Drought and wet events identified in Soummam basin using the 24-month SPI.

	Episodes	Duration (months)	Magnitude
Drought events	Dec 1973/Sep 1975	22	−16,19
	Feb 1977/Dec 1980	47	−45,84
	Dec 1982/Aug 1984	21	−11,58
	Feb 1987/Jan 1991	48	−31,57
	Mar 1993/Feb 1995	24	−18,01
	Jan 1996/Oct 1996	10	−8,01
	Jan 1997/Oct 1997	10	−6,57
	Feb 1999/Mar 2002	38	−61,78
	Oct 2005/Apr 2006	7	−4,85
Wet events	Aug 1968/Nov 1973	64	78,86
	Oct 1975/Jan 1977	12	8,51
	Jan A981/Nov 1982	23	8,22
	Apr 2002/Apr 2005	37	49,13
	Mar 2007/Dec 2009	34	22,88

Drought Events versus Wet Events :The SPI index has been used to identify dry and wet periods. Its calculation at the basin scale and at different time scales showed the chronological distribution of dry, normal and wet months, which in fact determines the rainfall regime. As a function of duration, magnitude and intensity, the graphs obtained (Figure 3) display the distribution of droughts and humidity identified at the basin scale, show that the longest duration is not necessarily the most intense.

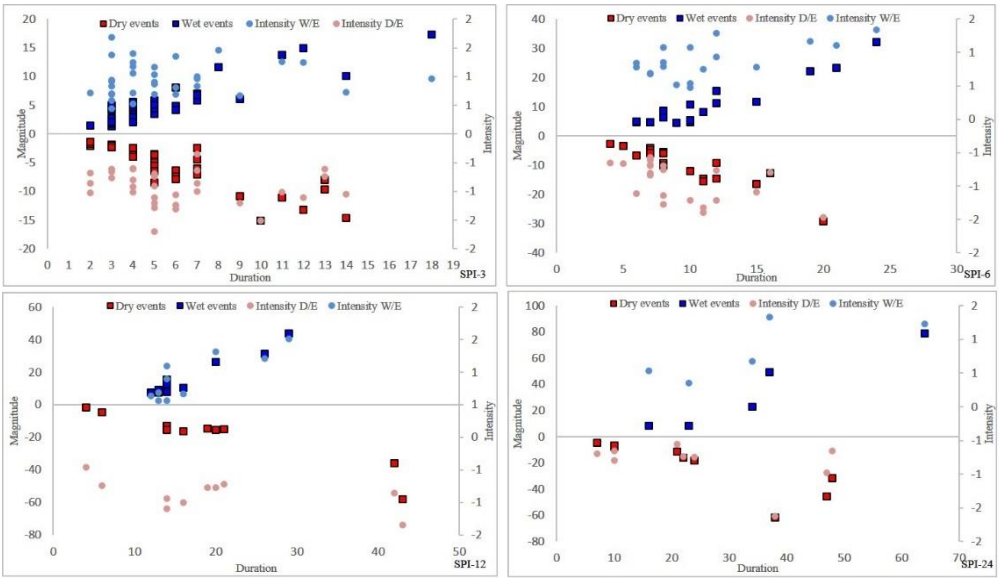


Figure 3. Identification of dry and wet events at the basin scale (1967–2011) according to the magnitude and intensity reached for each episode related to the duration in months for the different time scales (SPI-3, -6, -12 and -24 respectively).

Drought Events versus Wet Events: Drought and wet events were identified for each station taken in this study for the period 1967–2011 for 24-month time scale. It appears that several droughts were recorded. Exceptional drought lasted for 165 consecutive months, from December 1977 to August 1991 at the station S12 (Table 3). The drought of the late 1990s and early 2000s affected almost all stations. Some began in 1997, others in 1998 and 1999, and ended in 2002.

Table 3. Drought characteristics at the SPI-24 months' time scale of the considered stations (Mo: months; D: duration in months; M: magnitude; I: mean intensity).

	Maximum index during 1967/2011				Longest duration				Most intense duration			Number of episodes	Number of dry months	Relative frequency %
	SPI	Year	Mo	D	Years	M	I	D	Year	M	I			
S1	−2,08	1983	11	58	73–78	−39,89	−0,69	50	81–86	−47,34	−0,95	8	244	45,19
S2	−2,17	1978	1	60	86–91	−35,83	−0,60	40	99–02	−53,37	−1,33	7	193	35,74
S3	−2,48	2010	12	49	99–03	−39,98	−0,82	45	08–11	−83,04	−1,85	5	183	33,89
S4	−2,40	1995	10	134	91–02	−131,39	−0,98	35	73–75	−45,91	−1,31	2	169	31,30
S5	−2,17	1999	8	97	87–95	−65,29	−0,67	67	97–02	−64,8	−0,97	6	271	50,19
S6	−1,62	1991	4	35	89–92	−32,21	−0,92	35	89–92	−32,21	−0,92	1	35	6,48
S7	−1,86	1988	3	60	86–91	−63,9	−1,07	23	83–85	−25,49	−1,11	5	186	34,44
S8	−3,05	1997	4	92	94–02	−128,52	−1,40	92	94–02	−128,52	−1,40	2	127	23,52
S9	−1,72	1994	2	58	93–97	−48,84	−0,84	47	77–81	−78,61	−1,67	4	167	30,93
S10	−1,45	2010	1	77	05–11	−55,38	−0,72	46	99–02	−62,51	−1,36	4	193	35,74
S11	−1,95	1974	6	42	05–09	−33,84	−0,81	34	72–75	−38,94	−1,15	8	210	38,89
S12	−1,81	1975	3	165	77–91	−150,52	−0,91	27	73–75	−35,28	−1,31	2	192	35,56
S13	−1,86	2001	1	53	85–90	−56,43	−1,06	53	85–90	−56,43	−1,06	7	227	42,04
S14	−2,02	2001	6	132	95–06	−139,16	−1,05	132	95–06	−139,16	−1,05	2	204	37,78
S15	−2,34	1989	3	80	86–92	−76,28	−0,95	36	99–02	−40,84	−1,13	6	201	37,22
S16	−2,82	2001	12	39	99–02	−61,2	−1,57	39	99–02	−61,2	−1,57	7	165	30,56
S17	−2,38	1988	3	63	97–02	−68,68	−1,09	45	87–90	−58,72	−1,30	4	189	35,00
S18	−2,21	2011	6	50	98–02	−61,86	−1,24	50	98–02	−61,86	−1,24	8	218	40,37
S19	−2,28	2001	10	41	98–02	−56,2	−1,37	41	98–02	−56,2	−1,37	6	179	33,15
S20	−1,88	1973	11	20	73–75	−26,4	−1,32	20	73–75	−2,4	−1,32	26	222	41,1
S21	−1,67	1982	10	21	76–78	−19,0	−0,91	9	82–83	−10,0	−1,11	28	237	43,9
S22	−1,86	2004	8	31	75–78	−27,8	−0,90	8	04–05	−9,1	−1,14	29	248	45,9
S23	−1,77	1979	10	20	76–77	−18,1	−0,91	7	99–00	−9,1	−1,30	30	234	43,3

Table 4. Wet characteristics at the SPI−24 months' time scale of the considered stations (Mo: months; D: duration in months; M: magnitude; I: mean intensity).

	Maximum index during 1967/2011				The longest duration				The most intense duration			Number of episodes	Number of wet months	Relative frequency %
	SPI	Year	Mo	D	Years	M	I	D	Year	M	I			
S1	3,64	2003	6	66	06–11	91,61	1,39	66	06–11	91,61	1,39	3	126	23,33
S2	3,55	1972	2	35	71–73	67,76	1,94	35	71–74	67,76	1,94	5	134	24,81
S3	2,55	1972	2	62	72–75	84,32	1,36	62	68–73	84,32	1,36	5	181	33,52
S4	2,04	2003	10	69	77–83	64,14	0,93	26	69–72	38,3	1,47	5	198	36,67
S5	2,9	1969	10	65	06–11	42,37	0,65	61	68–72	92,86	1,52	3	159	29,44
S6	4,47	1972	12	235	68–88	374,12	1,59	118	01–11	200,25	1,70	4	414	76,67
S7	2,49	1995	6	52	93–98	61,04	1,17	52	93–98	61,04	1,17	6	189	35,00
S8	2,57	1969	5	65	68–73	97,09	1,49	65	68–73	97,07	1,49	5	165	30,56
S9	2,13	2003	6	66	06–11	47,74	0,72	44	01–05	37,84	0,86	8	265	49,07
S10	2,4	1992	2	117	84–93	133,03	1,14	117	84–93	133,03	1,14	5	215	39,81
S11	3,63	2003	10	41	01–05	68,38	1,67	41	01–05	68,38	1,67	5	149	27,59
S12	2,59	2003	6	66	06–11	49,13	0,74	60	68–73	81,81	1,36	5	221	40,93
S13	2,48	2009	8	54	07–11	88,34	1,64	54	06–11	88,34	1,64	6	162	30,00
S14	2,46	2008	8	50	89–93	50,68	1,01	30	07–11	50,16	1,67	5	166	30,74
S15	2,64	2008	2	58	69–74	74,39	1,28	58	69–74	74,39	1,28	3	133	24,63
S16	2,29	1976	1	55	82–87	52,06	0,95	27	74–77	36,33	1,35	8	211	39,07
S17	2,94	2003	9	66	06–11	51,15	0,78	45	01–06	67,33	1,50	5	188	34,81
S18	3,13	2003	10	33	08–11	31,62	0,96	30	01–05	49,15	1,64	7	178	32,96
S19	3,41	1973	4	43	01–05	32,48	0,76	39	71–75	68,81	1,76	6	164	30,37
S20	2,57	2003	10	63	68–73	83,87	1,33	63	68–73	83,87	1,33	4	165	30,56
S21	3,19	2003	7	53	68–72	52,5	0,99	38	01–05	71,09	1,87	5	205	37,96
S22	2,28	2008	2	45	06–10	43,64	0,97	28	71–73	47,4	1,69	6	158	29,26
S23	2,61	2003	7	42	06–10	38,82	0,92	36	71–73	43,66	1,21	7	198	36,67

As the SPI indicates degrees and types of droughts, it can also determine wet events (Table 01). Calculation of this index shows that all stations experienced extreme humidity in different time scale At SPI 24 months, the station S6 shows an exceptional case, with 235 consecutive wet months (August 1968 to February 1988) with a magnitude of 374.1. (Table 4). Another case is recorded in station S10, between 1983 and 1993, lasted for 117 consecutive wet months reaching the extremely wet condition during 20 consecutive months (Jan 1991-Aug 1992). It appears that the frequency of drought or wet events substantially varies from one station to another. Considering all stations, along with their magnitude, intensity and duration corresponding to four-time scales, at least 40 graphs can be developed. Figure 4 show the distribution of drought and wet events at stations S6 and S12 at 24- months' time scale.

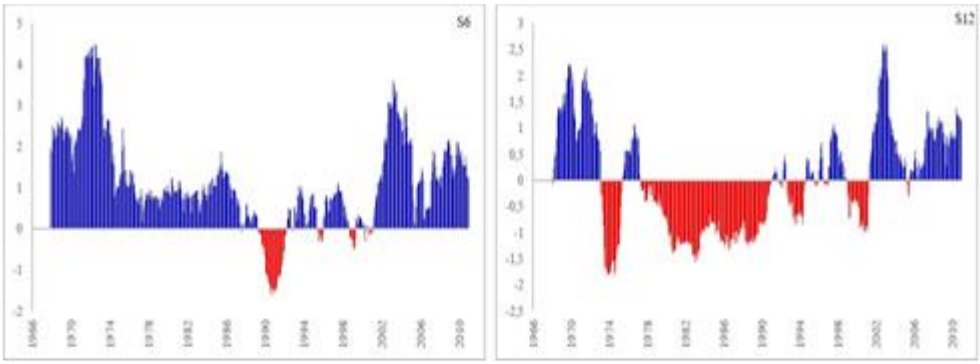


Figure 4. Time series of the SPI calculated for stations S6 and S12 for 24- months' time scale.

SPI values in all stations across the Soummam basin clearly showed the occurrence of severe drought in 2001. The 24-month SPI through the end of October 2001 indicate that most of the region marked by severe drought conditions. The basin influenced by each category (near normal 22%, moderate dryness 17%, severe dryness 35% and extreme dryness 26%). For the wet event, the 24-month SPI through the end of May 2002 show that the basin experienced wet conditions, influenced by 4% near normal, 8% moderate wet, 27% severely wet and 61% extremely wet (Table 5).

Table 5. The 24-month SPI through the end of October 2001 and May 2002.

Stations	SPI Values (Drought) through the End of October 2001	SPI Values (Wet) through the End of May 2002
S1	−1,30	3,63
S2	−1,73	2,27
S3	−1,66	0,81
S4	−0,50	1,74
S5	−1,49	2,61
S6	−0,10	3,09
S7	−2,03	2,26
S8	−0,97	1,71
S9	−1,85	2,08
S10	−2,33	1,03
S11	−1,75	3,15
S12	−0,98	2,47
S13	−1,48	1,83
S14	−2,04	1,02
S15	−1,74	2,43
S16	−2,45	1,98
S17	−1,63	2,73
S18	−2,21	2,68
S19	−2,28	1,98
S20	−1,71	2,28
S21	−0,34	3,07
S22	−1,44	1,89
S23	−1,55	2,53

Rupture Analysis

At the basin scale and at the annual time step, the results obtained by applying the Pettitt rupture test showed a rupture in 2001 in the direction of increased precipitation with a 17.1% increase rate at a significance level of 99%.

Figure 5 reveals that 52% of the stations taken in this study showed an increasing trend with a rate of increase ranging from +15.8% recorded at station S7 to 44.7% at station S1 and all these stations indicate this rupture in 2001 at a significance level of 99%. However, 9% of the stations experienced a rupture in 1995 in the direction of decreasing precipitation with a rate of decrease ranging from −10.3% for station S16 to −20.2% for station S10 and 39% of the stations show no rupture.

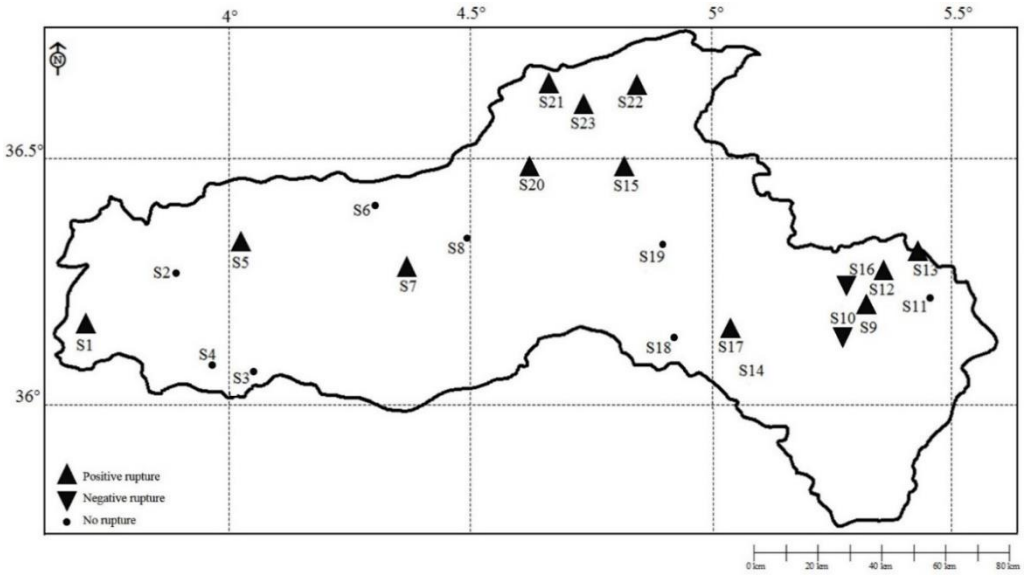


Figure 5. Results of the Pettitt test on an annual scale with stations recording positive and negative ruptures at the 99% significance level during the 1967–2011 period.

At the monthly time step, only 4 months show ruptures (October in 2006; November in 1996; February in 2008 and July in 2000) all in the direction of an increase in precipitation, with a rate that varies from 23.3% in November to 88.5% in February and all at the significance level of 99%.

The application of this test for all stations and at monthly time steps, has a total of 123 ruptures detected over the 1967–2011 period. These ruptures are unevenly distributed by month, ranging from 4 in September to 15 in August (Figure 6-a).

The histogram (6-b) clearly shows that these ruptures are organized around the years 2000, more precisely in 2001.

It can be seen that from the early 1990s onwards, there has been an increase in the number of ruptures. Some series experienced increases (66.7%) and others decreases (33.3%) at different levels of significance. The year 2001 is the most significant with 53.7% of ruptures, all in the direction of an increase in precipitation at the 99% significance level.

The graph (6-c) shows that out of 123 ruptures, 70.7% occurred at the 99% significance level (positive rupture 53.7% and negative rupture 17.1%). The month of March recorded 100% negative ruptures at different significance levels (35.7% at 90%; 42.9% at 95% and 21.4% at 99%). Figure 6-d shows the spatial distribution of these ruptures.

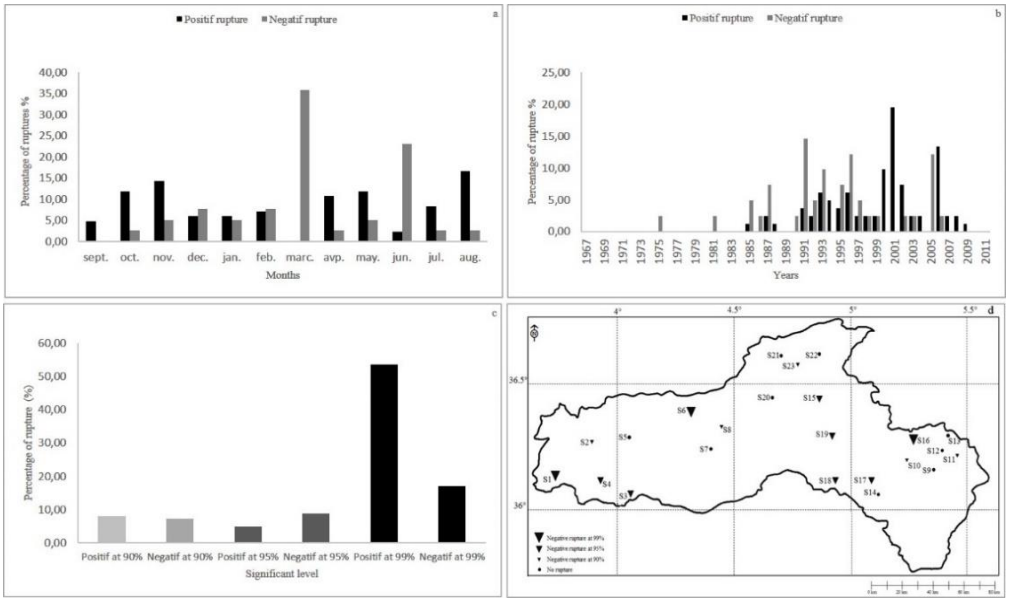


Figure 6. (**a**) Distribution of ruptures results by month (**b**) by year (**c**) Percentage of ruptures at different significant level (**d**) The spatial distribution of rupture results recorded in March, over the period 1967–2011.

Trend Analysis

On an annual scale and considering the whole basin, the first striking fact concerning the evolution of rainfall is the absence of significant trends. The Mann-Kendall test and the Sen Slope estimates show no trend during the 1967–2011 period (Figure 7a), although the Pettitt test shows a significant rupture (at significance level 99.99%) in 2001. The division of the series into sub-series shows a negative trend over the period 1967–2001 ($Z = -2.41$ and $Q = -0.0304$) at the 95% threshold and no trend is recorded over the period 2002–2011. On the other hand, the division of this period into four decades (1970–1979; 1980–1989; 1990–1999 and 2000–2009) shows significant trends (Figure 7b, 7c, 7d and 7e).

The analysis of the first three decades shows a downward trend ($Z = -5.19$ and $Q = -0.0998$; $Z = -3.70$ and $Q = -0.0547$; $Z = -3.22$ and $Q = -0.0562$) with a statistical significance of 99.9% (excellent) for the two first decades and 99% (very good) for the third decade, unlike the last decade (2000–2009) which shows a significant positive trend ($Z = 1.93$ and $Q = 0.0444$) with a significance level of 90%.

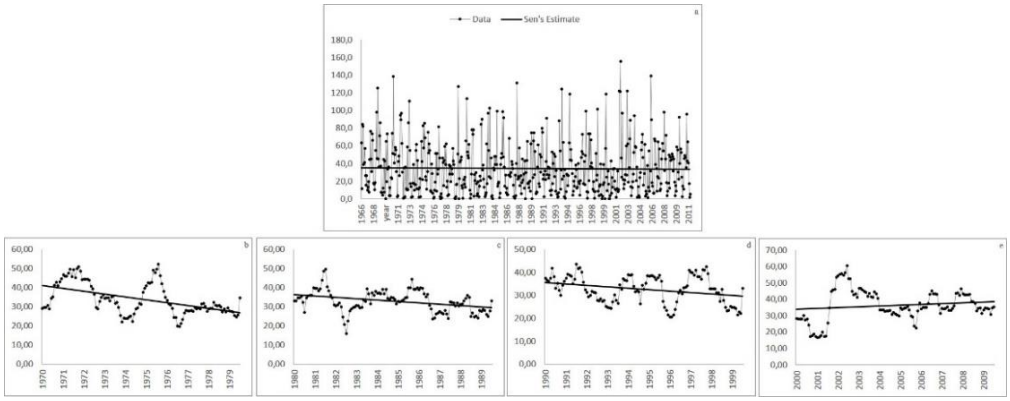


Figure 7. Evolution and trend of annual (a:1967–2011) and decadal (b:1970/1979- c:1980/1989- d:1990/1999- e:2000/2009) precipitation.

The same test applied to basin at the monthly time step indicates that all months show no significant trend except March (Z = −0.667, Q = −10.39, SL = 99.99%), April (Z = −0.389, Q = −3.515, SL = 90%) and August (Z = +0.333, Q = +1.93, SL = 90%), although the Pettitt test shows no ruptures in these months. Also, the results of the Pettitt test show ruptures in the months of October, November, February and July. The application of the trend test on the sub-series showed no trend.

On the other hand, the application of the Mann Kendall trend test and the Sen slope for individual stations at an annual resolution, shows significant trends at only four stations. Three stations show negative trends with a statistical significance of 95% and 90% (S3, Z = −0.250, Q = −4.892 and S14, Z = −0.204, Q = −3.003 at the 95% threshold and S4, Z = −0.202, Q = −2.465 at the 90% threshold) and one station shows a positive trend with a statistical significance of 95% (S1, Z = 0.216, Q = 3.337).

Applying the trend test for each station to the monthly time step revealed significant trends for some months. Positive significant trends appear in September with 53.9% stations and in August with 30.8% stations.

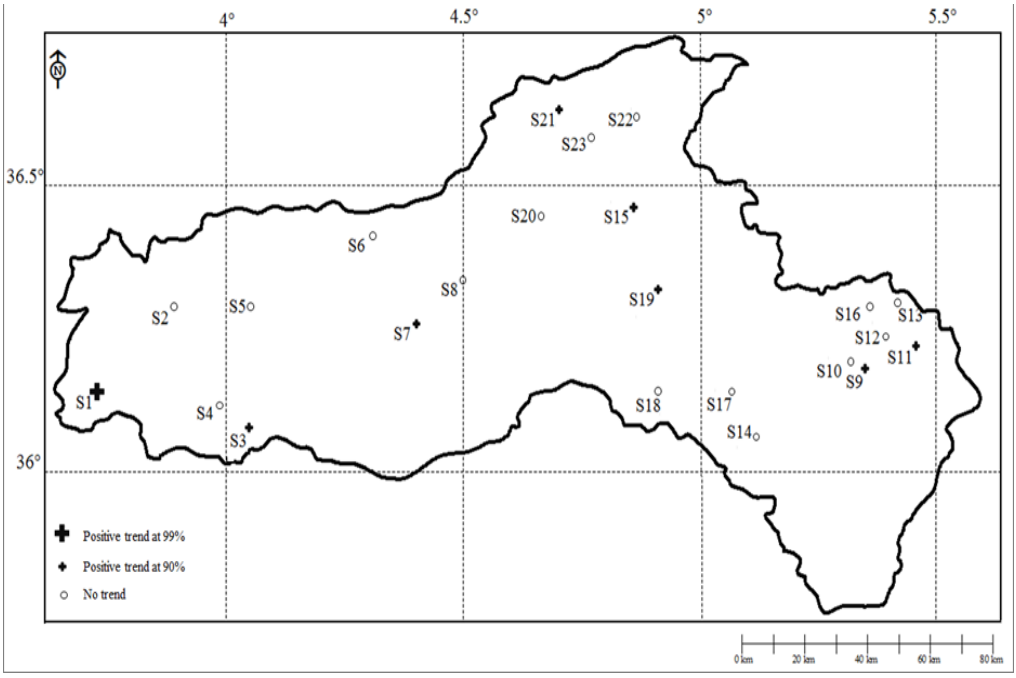


Figure 8. The spatial distribution of trends results recorded in September over the period 1967–2011.

The other months show significant negative trends, particularly in March when 50% of the stations (Figure 9) show a decrease in precipitation. Some months and stations show no significant trends (months: October, January, May and July/stations: S12, S16, S20 and S22).

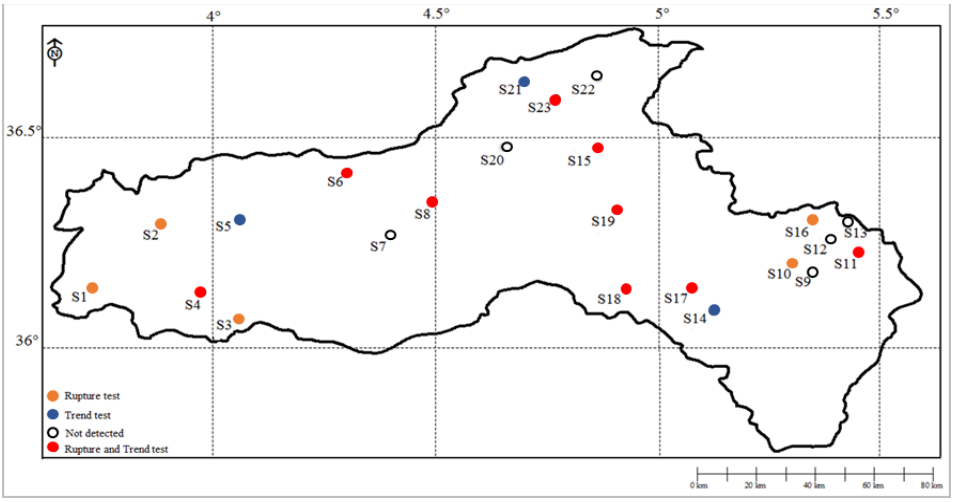


Figure 9. The spatial distribution of ruptures and trends results recorded in March at different significant level.

Correlation Analysis

Correlation analysis of annual rainfall and climate indices will help to explain the variability of the rainfall regime in the Soummam basin and mainly the drought that has affected the region since the 1970s and the return to a wet episode in the early 2000s. It should be recalled that not all stations have experienced a rupture in the rainfall regime. The correlation coefficients calculated between the annual rainfall at each station and the three climate indices show significant negative correlations with the MOi (Figure 10), however, the other indices NAOi and WeMOi show no significant correlation.

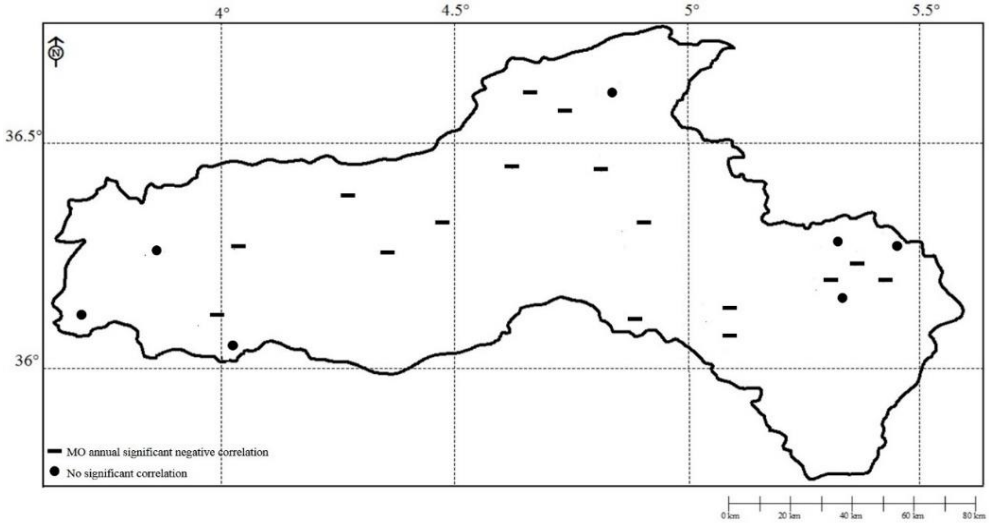


Figure 10. Correlations between annual precipitation and MOi.

The analysis of the relationships between climate indices and monthly precipitation shows significant correlations at the 5% significance level. Significant negative correlations are observed in the month of September (Figure 11), which is influenced by the NAO and MO mode (47.8% and 73.9% of stations respectively) showing an increase in precipitation. The month of December is influenced by the WeMO mode which shows significant positive correlations on 39.1% of the stations with a decrease in precipitation. November is influenced by the

MO mode which shows significant negative correlations on 34.8% of the stations with an increase in precipitation. Some stations and some months do not show significant correlations.

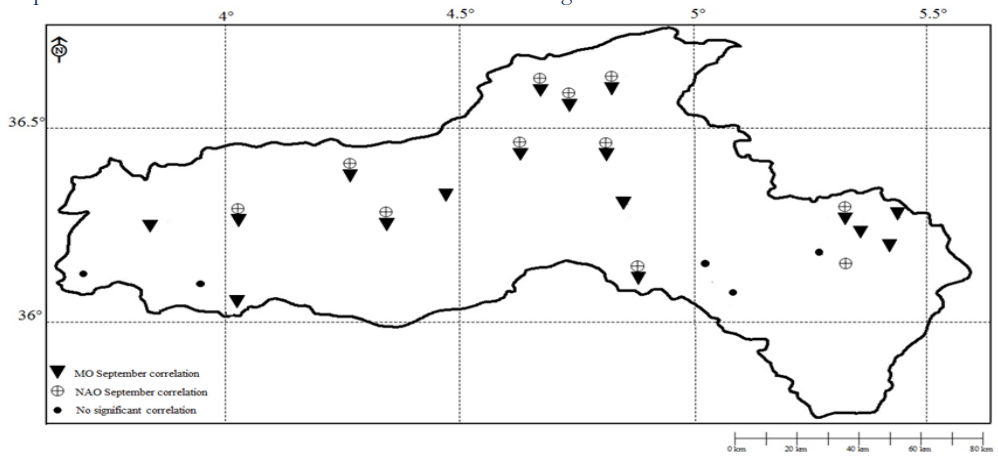


Figure 11. Correlation between September precipitation and MOi and NAOi.

The positive or negative phase triggered by the atmospheric circulation influences the variability of precipitation, as this influence may take time to appear and the consequences of this change may not be observed over the whole study period and may be seen in specific years. Therefore, it is proposed to analyze the correlations between decadal precipitation and climate indices at annual and monthly scales.
Analysis of the relationships between the NAO and MO climate indices with decadal annual precipitation shows significant negative correlations during the decade 1970–1979. The results show that 11 stations are influenced by the NAO mode, 17 stations by the MO mode and 8 stations show a simultaneous influence of the two modes NAO and MO, corresponding to the positive phase of both modes, thus leading to a decrease in precipitation during this decade. The WeMO mode shows no significant correlation. For the decades 1980–1989 and 1990–1999, the results show no significant correlation. On the other hand, for the decade 2000–2009, the results show significant negative correlations in all stations (100% of the stations) with the MO mode which corresponds to an increase in precipitation, and only 2 stations show significant positive correlations with the NAO mode and no significant correlation with the WeMO mode (Figure 12).

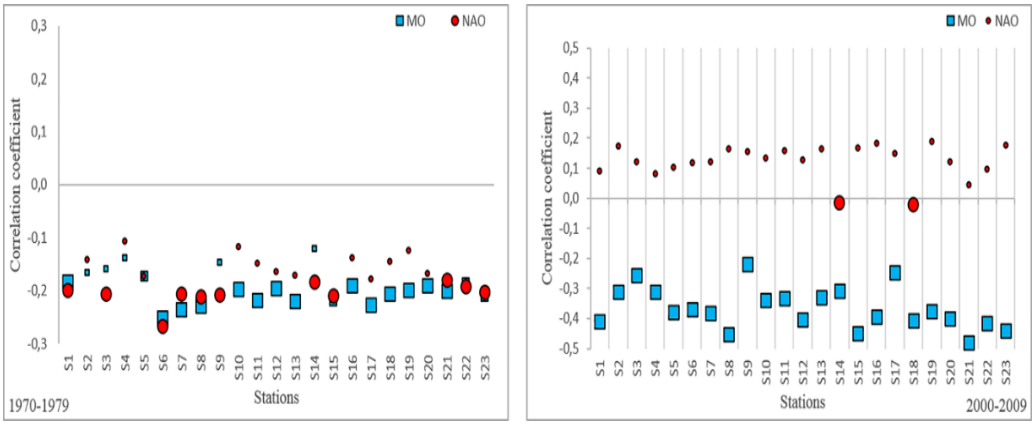


Figure 12. Correlation coefficients between annual decadal precipitation of the periods 1970–1979/2000–2009 with NAO and MO mode (significant correlation are in large characters).

Application of the same test for monthly precipitation shows several significant correlations. The results show significant correlation coefficients with the MO mode during the decade 1980–1989. Positive correlations in December with 16 stations and in January with 13 stations and coefficients ranging between 0.65 and 0.85, coinciding with positive phases of an increase in precipitation during these two months. Negative correlations were observed in March with 14 stations giving us a decrease in precipitation and in June with 9 stations with an increase in precipitation and coefficients ranging between −0.66 and −0.98 and between −0.65 and −0.79 respectively. Over the 1990–1999-decade, significant positive correlations appeared in April with a decrease in precipitation with 8 stations and coefficients ranging between 0.67 and −0.83. Over the decade 2000–2009, significant negative correlations appeared in October with 18 stations showing an increase in precipitation during that month and in June showing a decrease in precipitation at 8 stations with correlation coefficients varying between −0.68 and −0.83 and between −0.66 and −0.86 respectively. Significant positive correlations were observed in January with 16 stations coinciding with the positive phase of the mode showing an increase in precipitation with coefficients varying between 0.65 and 0.79.
The same is true for the NAO index, which shows its influence on monthly precipitation for the decade 1980–1989. Significant positive correlations are observed in December showing an increase in precipitation with 13 stations (between 0.66 and 0.84) and negative correlations in February with 13 stations (between −0.66 and −0.84) and in March with 8 stations (between −0.70and −0.81) showing a decrease in precipitation. Over the 2000–2009-decade, significant positive correlations appeared in January with 7 stations (between 0.66 and 0.83) showing an increase in rainfall and in May with 7 stations (between 0.66 and 0.79) showing a decrease in precipitation. On the other hand, the WeMO mode appears with significant positive correlation coefficients during the decade 1980–1989 in December with 9 stations (between 0.66 and 0.92) with an increase in precipitation.
Thus, the results show the impact of the NAO and MO mode on precipitation variability. However, it is mainly the MO mode that affects this variability with higher correlation coefficients than the other indices.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The greatest advantage of the Standardized Precipitation Index (SPI), is that it is based exclusively on precipitation data, which makes it very easy to calculate and use. It is applicable to all weather patterns to either detect or monitor droughts at different time scales.

The analysis of rainfall using the SPI allowed the characterization of dry years, wet years and their degrees of severity, thus, it highlights the temporal and spatial distribution of these years. The values, either for the basin or individually for each station, clearly indicate that a drought has occurred in the basin and a humidity period too. The SPI values for the main station through the end of October 2001 clearly show that a significant drought occurred the basin. The area assigned to moderate, severe and extreme drought classes based on the 24-month SPI, highlight the fact that very little precipitation fell over the majority of the basin during 2000–2001 and showed a 29-year drought starting from 1973 until 2001. In 2001, the average rainfall over the basin was only 241mm, which is reduction of about 28% from the previous year's average and 40.5% from the average of the previous 34 years. The relative frequencies (Table 3), help to know how many droughts have occurred in the Soummam basin. The results show that the mean relative frequencies of 6.48% and 50.19% for drought occurring at the basin at 24-month time scale. A drought with the longest duration is not necessarily the most intense, so it may not result a huge impacts or damage. The longest 24-month SPI drought at station S21, which lasted for 165 months with a magnitude of −150.52 and mean intensity of −0.98, had less impact than the 27-month drought with a magnitude of −35.28 and mean intensity of −1.31. The same for the wet conditions. The SPI values through the end of May 2002, show that the basin experienced a wet condition based on the 24-month SPI from moderate, severe to extreme wet classes. In 2002, the average rainfall over the basin was 657 mm, which represents 63.3% increase compared to the previous year and 39.1% compared to the 35 previous years. The relative frequencies in Table 4, show that the mean relative frequencies of 23.33% and 76.67% for wet occurring at the basin at 24-month time scale. The test of Pettitt shows a break in the direction of an increase of the rains in 2002 what qualifies it as an excess over the whole period. The longest 24-month SPI wet at station S6, which lasted for 235 months with a magnitude of 374.12 and mean intensity of 1.59 had less impact than the 118 months drought with a magnitude of 200.25 and mean intensity of 1.70. Summing up there was an overall decreasing trend during the decades 70/79, 80/89 and 90/99. The recovery of rainfall from 2002, which represents a very wet year, agrees with the results obtained by other researchers on the increase in average rainfall in the Mediterranean basin during the last decade, as concluded Ramos and Martinez-casanovas 2006 [46], Nouacer et al.,2014 [47] and Khoualdia et al.,2014 [20]. This makes the decade 00/09 wetter than previous decades. The drought that has hit the region was dominated by mild droughts and not extreme droughts a result

consistent with the work of Faye et al.,2015 [48]. Monthly, the evolution of the SPI index shows significant trends in the direction of a decrease in the month of March, result consistent with the works of Khoualdia et al., 2014 [20] for Algeria and Gonzales-Hidalgo et al.,2009 [49] for Spain. On the other hand, rainfall increasing trends appear in September and August, in contrast with in the declining rainfall in March. The large variation in precipitation patterns in the study area may be related to the influence of general atmospheric circulation. The correlation analysis between the teleconnection pattern indices and the average precipitation in the region showed that the MO and NAO modes are predominant. Nevertheless, the results obtained, show that the low frequency variability patterns explain only a part of the variability of precipitation in the Soummam basin. So the return to a wet phase since 2002 makes us wonder if this is the end of the drought. Would it be the beginning of a wet phase after a long period of drought from 1973 to 2001?

The climate has experienced remarkable variability in recent decades and the impacts of these changes have been observed in several regions of the world. In the future, the expected effects will be significant and the environmental and socio-economic impacts are likely to be very severe. However, the local effects remain poorly described in some regions of the Mediterranean basin. This work has shown that rainfall is remarkably variable in space and time in Soummam basin, with a long deficit period starting in the 1970s and a return to an upward trend from 2001 onwards. It appears that the NAO and MO partly influence this variability. All these results will be used in other future work. They can contribute to the evaluation of the performance or capacity of regional climate models (RCMs) to reproduce the variability of past precipitation and assess the impact of climate change at the local scale. Also, the development of a water resources planning and management tool to address the impact of future climate change and take adaptation measures to maintain the sustainability of water resources in the region. This model will allow to reproduce the evolution of precipitation in the past and the future to anticipate the impact of climate change on hydro-climatic variability at the local scale, particularly the prediction of extreme events. Finally, our results show that the frequency of drought and wetness episodes varies considerably in space and time despite the fact that we are talking about a single basin, the behavior of each sub-basin is different. A random phenomenon that must be taken seriously, especially drought, because future drought projections indicate drier conditions in the Mediterranean basin during the 21st century [50].

References

[1] G.d.e.i.s.l.é.d.c.W.G. I, R. Alley, Climate Change 2007: The physical science basis: Summary for policymakers, IPCC, 2007.
[2] M. Collins, R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility, in: Climate Change 2013-The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2013, pp. 1029−1136.
[3] J. Bricquet, F. Bamba, G. Mahe, M. Toure, J. Olivry, Evolution récente des ressources en eau de l'Afrique atlantique, Publisher, City, 1997.
[4] P. Hubert, J.P. Carbonnel, A. Chaouche, Segmentation des séries hydrométéorologiques—application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest, Publisher, City, 1989.
[5] E. Servat, J. Paturel, H. Lubes-Niel, B. Kouamé, J. Masson, M. Travaglio, B. Marieu, De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne, Publisher, City, 1999.
[6] Bhaga, T. ; Shekede, M. ; Shoko, C. (2020) : Impacts of Climate Variability and Drought on Surface Water Resources in Sub-Saharan Africa Using Remote Sensing: A Review. Remote Sensing. 12. 4184. 10.3390/rs12244184.
[7] Verner, D. ; Treguer, D. ; Redwood, J.; Christensen, J. ; McDonnell, R. ; Elbert, C. ; Konishi, Y. ; Belghazi, S.(2018) : Climate Variability, Drought, and Drought Management in Morocco's Agricultural Sector. 10.1596/30603.
[8] S. Taibi, M. Meddi, G. Mahé, A. Assani, VariabiltyOf Annual And Extreme Rainfall Over Northern Algeria And RelashioshipWhithTeleconnections Patterns, Publisher, City, 2014.
[9] F. Giorgi, Climate change hot-spots, Publisher, City, 2006.
[10] M. New, M. Todd, M. Hulme, P. Jones, Precipitation measurements and trends in the twentieth century, Publisher, City, 2001.
[11] C. Goodess, J. Palutikof, M. Agnew, Climate change scenarios for the mediterranean: A basis for regional impact assessment, in, Nota di Lavoro, Fondazione Eni Enrico Mattei, 2000.
[12] H. Meddi, M. Meddi, Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie, Publisher, City, 2007.
[13] Achour, K., Meddi, M., Zeroual, A., Bouabdelli, S., Maccioni, P. and Moramarco, T. (2020) Spatio-temporal analysis and forecasting of drought in the plains of northwestern Algeria using the standardized precipitation index. Journal of Earth System Science 129(1), 1-22.
[14] Habib,B., Meddi, M., Toris, P.J., Remaoun, M. and Van Lanen, H.A. (2018) Characterisation and prediction of meteorogical drought using stochastic models in the semi-arid Cheliff-Zahrez basin (Algeria). Journal of Hydrology: Regional Studies 16, 15-31

[15] Y. Djellouli, P. Daget, Conséquences de la sécheresse des deux dernières décennies sur les écosystèmes naturels algériens, Publisher, City, 1993.
[16] A. Talia, M. Meddi, La pluvio-variabilité dans le Nord de l'Algérie, in: Actes du colloque" Terre et Eau, 2004, pp. 477-480.
[17] A. Medjerab, L. Henia, Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie nord-occidentale, Publisher, City, 2005.
[18] A. Hirche, A. Boughani, M. Salamani, Annual rainfall evolution in some arid Algerian stations, Publisher, City, 2007.
[19] Z. Nouaceur, B. Laignel, I. Turki, Changements climatiques au Maghreb: vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien?, Publisher, City, 2013.
[20] W. Khoualdia, Y. Djebbar, Y. Hammar, Caractérisation de la variabilité climatique: cas du bassin versant de La Medjerda (Nord-Est algérien), Publisher, City, 2014.
[21] S. Taibi, M. Meddi, D. Souag, G. Mahé, Évolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009), Publisher, City, 2013.
[22] R. Hadef, A. Hadef, Le déficit d'eau en Algérie: une situation alarmante, Publisher, City, 2001.
[23] M. Amyay, Z. Nouaceur, A. Tribak, T.A. Okba Kh, Caractérisation des évènements pluviométriques extrêmes dans le Moyen Atlas marocain et ses marges, in: Actes du XXV ème colloque international de climatologie, 2012, pp. 75-80.
[24] D.A. Wilhite, M.H. Glantz, Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions, Publisher, City, 1985.
[25] Shelley D. Crausbay, S.D. ; Ramirez, A.R.; Carter, S.L.; Cross, M.S.; Hall, K.R.; Bathke, D.J.; Betancourt, J.L.; Colt, S.; Cravens, A.E.; Dalton, M.S.; Dunham, J.B.; Hay, L.E.; Hayes, M.J.; McEvoy, J.; McNutt, C.A.; Moritz, M.A.; Nislow, K.H.; Raheem, N.; Sanford, T. (2018) : Defining Ecological Drought for the Twenty-First Century. Bulletin of the American Meteorological Society, 98, 12,
[26] M.M. Saravi, A. Safdari, A. Malekian, Intensity-Duration-Frequency and spatial analysis of droughts using the Standardized Precipitation Index, Publisher, City, 2009.
[27] E. Xoplaki, J. González-Rouco, J.u. Luterbacher, H. Wanner, Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends, Publisher, City, 2004.
[28] M.M. Meddi, A.A. Assani, H. Meddi, Temporal variability of annual rainfall in the Macta and Tafna catchments, Northwestern Algeria, Publisher, City, 2010.
[29] J.-A. Lopez-Bustins, J. Martin-Vide, A. Sanchez-Lorenzo, Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns, Publisher, City, 2008.
[30] J. Martin-Vide, J.A. Lopez-Bustins, The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula, Publisher, City, 2006.
[31] Taibi, S., Meddi, M. and Mahé, G. (2015). Evolution des pluies extreme dans le bassin du Cheliff (Algerie) au cours des 40 dernières années 1971-2010. Proceeding of the International Association of Hydrological Sciences 369, 175-180.
[32] J. Honaker, G. King, M. Blackwell, Amelia II: A program for missing data, Publisher, City, 2011.
[33] G. Hiez, L'homogénéité des données pluviométriques, Publisher, City, 1977.
[34] P. Jones, T. Jonsson, D. Wheeler, Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland, Publisher, City, 1997.
[35] M. Conte, A. Giuffrida, S. Tedesco, Mediterranean Oscillation: Impact on Precipitation and Hydrology in Italy, in: Conference on Climate and Water., 1989.
[36] T.B. McKee, N.J. Doesken, J. Kleist, The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society Boston, MA, 1993, pp. 179-183.
[37] A.C. Steinemann, M.J. Hayes, L. Cavalcanti, Drought indicators and triggers, Publisher, City, 2005.
[38] M. Svoboda, M. Hayes, D. Wood, Standardized precipitation index user guide, Publisher, City, 2012.
[39] A. Pettitt, A non-parametric approach to the change-point problem, Publisher, City, 1979.
[40] H.B. Mann, Nonparametric tests against trend, Publisher, City, 1945.
[41] M. Kendall, Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London (1975), Publisher, City, 1975.
[42] A. Benhamrouche, J. Martin-Vide, Évolutions de la concentration des précipitations journalières sur les littoraux du bassin méditerranéen occidental (1951-2010), Publisher, City, 2017.
[43] R.O. Gilbert, Statistical methods for environmental pollution monitoring, John Wiley & Sons, 1987.
[44] P.K. Sen, Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, Publisher, City, 1968.
[45] C. Spearman, " General Intelligence," objectively determined and measured, Publisher, City, 1904.
[46] M. Ramos, J. Martinez-Casasnovas, Nutrient losses by runoff in vineyards of the Mediterranean Alt Penedès region (NE Spain), Publisher, City, 2006.
[47] Z. Nouaceur, vers un retour des pluies sur la rive sud du bassin mediterraneen occidental: analyse et evaluation de la tendance pluviometrique sur plus d'un demi–siecle en algerie, Publisher, City, 2011.
[48] C. Faye, A.A. Sow, J.B. Ndong, Étude des sècheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale: caractérisation et cartographie de la sècheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal, Publisher, City, 2015.
[49] J.C. Gonzalez-Hidalgo, J.A. Lopez-Bustins, P. Štepánek, J. Martin-Vide, M. de Luis, Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951–2000), Publisher, City, 2009.
[50] Kirtman, B, Power, S.B., Adedoyin, J.A, Boer, G.J., Bojariu, R., Camilloni, I., Doblas-Reyes, F.J., Fiore, A.M., Kimoto, M.,Meehl, G.A., Prather, M., Sarr., A., Schar, C., Sutton, R., van Oldenborgh, G.J., Vecchi, G., Wang, H.J. 2013. Near term climate change: Projections and Predictability. In: T.F. Stocker, D.Qin. G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J.Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of working group 1 to fifth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York

Gaaloul Noureddine, Saeid Eslamian and Rim Katlane
The health effects of global warming: developing countries are the most vulnerable
International Journal Water Sciences and Environment Technologies
Vol. (vi), Issue. 4, December 2021, pp. 36-49
ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access
www.jiste.org
Scientific Press International Limited
Received: 12 January 2022 / Revised: 25 January 2022 / Accepted: March 2022 / Published: March 2022

The health effects of global warming: developing countries are the most vulnerable

Gaaloul Noureddine[1], Saeid Eslamian[2], Rim Katlane[3]

[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

Detection and measurement of health effects of climate change are necessary to provide evidence on which to base national and international policies relating to control and mitigation measures.
Unequivocal evidence of health effects, and accurate measurements of their size, can come only from hard data. However, climate varies naturally as well as through human influences and in turn is only one of many determinants of health. There must be careful consideration of how best to collect and analyse information that will provide secure evidence of climate change impacts.
In this paper, we consider how monitoring may help provide evidence of early health impacts, examining the principles on which monitoring should be based, potential sources of monitoring data, and discussing issues in the analysis and interpretation of such data. There is a complex relationship between climatechange and health. Detecting and quantifying impacts on health will be gained only through broad scientific effort rather than individual monitoring studies.

Key Words*:* Water, Heatlth, Climate Change,

Les effets du réchauffement climatique sur la santé : Les pays en développement sont les plus vulnérables

Résumé

La détection et la mesure des effets du changement climatique sur la santé sont nécessaires pour fournir des preuves sur lesquelles fonder les politiques nationales et internationales relatives aux mesures de contrôle et d'atténuation.
Des preuves sans équivoque des effets sur la santé et des mesures précises de leur ampleur ne peuvent provenir que de données concrètes. Cependant, le climat varie naturellement ainsi que par les influences humaines et, à son tour, n'est qu'un des nombreux déterminants de la santé. Il faut examiner attentivement la meilleure façon de collecter et d'analyser les informations qui fourniront des preuves sûres des impacts du changement climatique.
Dans cet article, nous examinons comment la surveillance peut aider à fournir des preuves d'impacts précoces sur la santé, en examinant les principes sur lesquels la surveillance devrait être basée, les sources potentielles de données de surveillance et en discutant des problèmes d'analyse et d'interprétation de ces données. Il existe une relation complexe entre le changement climatique et la santé. La détection et la quantification des impacts sur la santé ne seront obtenues que par un effort scientifique général plutôt que par des études de suivi individuelles.

Mots clés : Eau, Santé, Changement Climatique, .

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

INTRODUCTION

Climate change is now accepted as a reality and is being recognised as a serious environmental threat by international organizations, some governments, the policy makers and scientists. Scientists have improved their understanding of climate system and present us with evidence of creditable threat about such a change. Mathematical models have been used and these models have performed well in reproducing historical trends of the past, which creates confi dence in future projections in response to greenhouse gas emissions and concentrations. However, these climate projections on their own do not defi ne the potential risks of climate change. These risks are manifested through the exposure and tolerance of natural and human systems and their capacity to adapt to the change. Climate change impacts every aspect of human life, including economic (because of changes in natural systems and resources availability), long term prosperity. While climate change variability and disasters associated with it are an additional burden to sustainable development, particularly in developing countries. We also know that impact of climate change is regional based. Africa will be the worst hit continent, where the increase in temperature is expected to be more than global average inspite of the fact that their contribution of greenhouse gases is minimal. Most of the scientifi c community from the above-mentioned agencies and UNEP report that the latest data point towards the trend of global warming.

Effects of climate change on health will affect most populations in the next decades and put the lives and wellbeing of billions of people at increased risk. During this century, earth's average surface temperature rises are likely to exceed the safe threshold of 2°C above preindustrial average temperature. Rises will be greater at higher latitudes, with medium-risk scenarios predicting 2–3°C rises by 2090 and 4–5°C rises in northern Canada, Greenland, and Siberia. In this paper, we have outlined the major threats—both direct and indirect—to global health from climate change through changing patterns of disease, water and food insecurity, vulnerable shelter and human settlements, extreme climatic events, and population growth and migration. Although vector-borne diseases will expand their reach and death tolls, especially among elderly people, will increase because of heatwaves, the indirect effects of climate change on water, food security, and extreme climatic events are likely to have the biggest effect on global health.

Between 2030 and 2050, climate change is expected to generate nearly 300,000 additional deaths per year, increasing child malnutrition and undernutrition, insect-borne diseases, diarrhoea and heat-related stresses. The potential influences of these changes on health are therefore multiple and interrelated. To these damages, it is necessary to add the migration of populations fleeing profound changes in their living environment: decrease in agricultural yields, floods, sea level rise…. Nearly 250 million "climate refugees" are expected at the horizon of 2050. Everyone remembers the excess of mortality in Europe during the heat wave in the summer of 2003, whereas 70,000 deaths were recorded in August alone. The climatic effects on infectious diseases are more complex. But entomologists are convinced that the expansion of hot and humid areas on the surface of the globe would increase populations of virus-carrying insects tenfold. Finally, the economic impacts of climate change speak for themselves: the estimated cost of direct health damage is estimated at between $2 billion and $4 billion per year by 2030.

Management of the health effects of climate change will require inputs from all sectors of government and civil society, collaboration between many academic disciplines, and new ways of international cooperation that have hitherto eluded us. Involvement of local communities in monitoring, discussing, advocating, and assisting with the process of adaptation will be crucial. An integrated and multidisciplinary approach to reduce the adverse health effects of climate change requires at least three levels of action. First, policies must be adopted to reduce carbon emissions and to increase carbon biosequestration, and thereby slow down global warming and eventually stabilise temperatures. Second, action should be taken on the events linking climate change to disease. Third, appropriate public health systems should be put into place to deal with adverse outcomes.

Change in climate also has an impact on health and trends. This might change or prolong the pollen season impacting people with allergies, indoor environment due to more heating or cooling will have an impact on the health of the people, there might be change in UV radiations impacting health of people etc. Climate change will also have an impact on vector borne diseases as well as water and food borne diseases. With increase in temperature, mosquitoes and ticks are creeping up on latitude, change in precipitation is also changing the map of Malaria spread, also seasonal variation infl uences presence of pathogens such as Salmonella leading to increased incidences of water and food borne diseases. Change in precipitation patterns will also link into agriculture, food security and availability of nutritious food.

CLIMATE CHANGE EFFECTS ON HEALTH WILL EXACERBATE INEQUITIES BETWEEN RICH AND POOR

Global warming can result in many serious alterations to the environment, eventually impacting human health. It can also cause a rise in sea level, leading to the loss of coastal land, a change in precipitation patterns, increased risks of droughts and floods, and threats to biodiversity.

The effects are already evident in areas like Nunavut, Canada, where Inuit hunters are facing survival challenges due to the thinning of the ice. Explorer Will Steger gives an account of hunters in the Baffin Island, who are faced with the dilemma of unsafe hunting due to ice loss, risking their lives to get in contact with sea animals. Climate change will have its greatest effect on those who have the least access to the world's resources and who have contributed least to its cause. Without mitigation and adaptation, it will increase health inequity especially through negative effects on the social determinants of health in the poorest communities.

The effects of climate change on health are inextricably linked to global development policy and concerns for health equity. Climate change should catalyse the drive to achieve the Millennium Development Goals and to expedite development in the poorest countries. Climate change also raises the issue of intergenerational justice. The inequity of climate change—with the rich causing most of the problem and the poor initially suffering most of the consequences—will prove to be a source of historical shame to our generation if nothing is done to address it. Raising health status and reducing health inequity will only be reached by lifting billions out of poverty.

The World Health Organization (WHO) reports [1] that climate change is responsible for at least 150,000 deaths per year, a number that is expected to double by 2030. The effects of global warming will cause dire health consequences:

Infectious diseases: IPCC [2] predicts that global warming will worsen human health conditions, especially in tropical regions. In places like Africa, an increase in temperature signifies an increase in mosquito populations, thus escalating the risk of malaria, dengue and other insect-borne infections. Other regions are also affected. However, the ability to tolerate temperature changes differs from region to region. On the other hand, developing countries lack not only the technological know-how, but also the resources and public health systems, required to prevent such outbreaks.

Heatwaves: Prolonged periods of abnormally high temperatures can have serious health effects on vulnerable populations, such as the elderly and the sick. This was already seen during the 2003 heatwave in Europe, which claimed approximately 35,000 lives. In a study by Hadley Center for Climate Prediction and Research in the United Kingdom, scientists using computer models showed how greenhouse gas emissions have increased the likelihood of heatwaves. The most common health effect is hyperthermia or heatstroke that can be fatal if left untreated. IPCC predicts that global warming will lead to hot days, followed by nights of high temperatures.

Loss of agricultural productivity: Global warming can result in droughts that can worsen living conditions, particularly in Africa. The World Wild Fund has reported that climate change can drastically alter rainfall pattern, and risk water and food supplies for millions. The IPCC report estimates that approximately 75 million to 250 million people in Africa will be without adequate water and will face food shortages by 2020, as crop productivity will decline by about 50 per cent. Rising temperatures could also result in food shortages for 130 million people in Asia.

Asthma and other respiratory diseases: People suffering from heart problems are more vulnerable to increased temperatures, especially those living in already warm areas, as their cardiovascular system must work harder to keep their body cool. Hot temperatures increase the ozone concentration, which can damage people's lung tissue and cause complications for asthma patients and those with lung diseases. Increased global warming can also pose a threat to national security, affecting food security, which, in turn, can lead to resource conflicts. At the UN Security Council debate on energy, security and climate, British Foreign Secretary Margaret Beckett introduced global warming as a security risk.

On a positive note, many countries have now realized the grave consequences of global warming. However, the major impact on reducing the effects of global warming cannot be made without the commitment of those countries that account for the greatest production of greenhouse gases.

CLIMATE-SENSITIVE HEALTH RISKS

Climate change is already impacting health in a myriad of ways, including by leading to death and illness from increasingly frequent extreme weather events, such as heatwaves, storms and floods, the disruption of food systems, increases in zoonoses and food-, water- and vector-borne diseases, and mental health issues. Furthermore, climate change is undermining many of the social determinants for good health, such as livelihoods, equality and access to health care and social support structures. These climate-sensitive health risks are disproportionately felt by the most vulnerable and disadvantaged, including women, children, ethnic minorities, poor communities, migrants or displaced persons, older populations, and those with underlying health conditions (Figure 1).

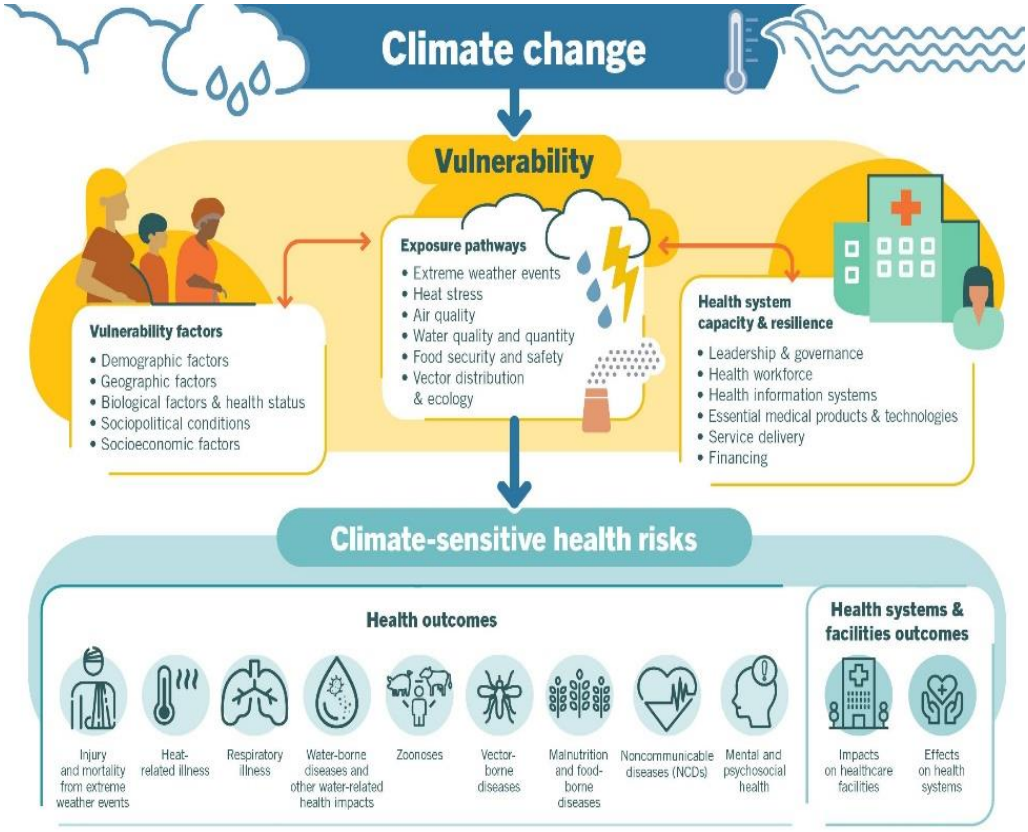


Figure 1. An overview of climate-sensitive health risks, their exposure pathways and vulnerability factors. Climate change impacts health both directly and indirectly, and is strongly mediated by environmental, social and public health determinants. [3]

Although it is unequivocal that climate change affects human health, it remains challenging to accurately estimate the scale and impact of many climate-sensitive health risks. However, scientific advances progressively allow us to attribute an increase in morbidity and mortality to human-induced warming, and more accurately determine the risks and scale of these health threats. In the short- to medium-term, the health impacts of climate change will be determined mainly by the vulnerability of populations, their resilience to the current rate of climate change and the extent and pace of adaptation. In the longer-term, the effects will increasingly depend on the extent to which transformational action is taken now to reduce emissions and avoid the breaching of dangerous temperature thresholds and potential irreversible tipping points.

DIRECT EFFECTS ON HUMAN HEALTH

Heat Stress: An increase in average temperature would probably be accompanied by an increase in the number and severity of extreme heatwaves in some areas. This would cause an increase in illness and death, particularly among the young, the elderly, the frail, and the ill, especially in large urban areas. Climate change would exacerbate an already large urban heat island effect that exists in many large cities. In fact, heat-related mortality may prove to be the largest direct health threat from global climate change. However, much of the research points to a substantial increase in weather-related mortality under climate change conditions. Despite these uncertainties, there is a clear need to develop an adequate warning system to alert the public and government agencies when oppressive air masses are expected—extended periods of extreme high temperature, light winds, high humidity, and intense solar radiation [4].

Skin Cancer, Cataracts, and Immune Suppression: Ozone depletion can have both direct and indirect effects on ecological systems and human health. Increased exposure to ultraviolet radiation (especially UV-B) can have harmful effects on photosynthesis (on land and sea), with potentially disruptive impacts on food production and the stability of ecosystems. The most important direct human health effect would be an increase in nonmelanoma skin cancers, especially in fair-skinned populations. Such cancers are already a major problem in the United States, with about 1 million new cases per year. Furthermore, current models suggest a two percent increase in incidence for every one percent decrease in stratospheric ozone. The current scenario for phaseout of CFCs predicts a 25 percent increase in skin cancer by 2050 at 50°N latitude, relative to the 1980 incidence. Melanoma is a less frequent but far more deadly skin cancer, whose relationship to UV-B exposure remains uncertain. Both types of skin cancer have a long lag time between exposure and disease; the effects of increased UV-B may not be seen until after 2050. Increased UV-B can also be expected to increase the frequency of cataracts, which can lead to blindness in all populations. Current estimates indicate a 0.3 to 0.6 percent increase in new cataract cases for every 1 percent decrease in stratospheric ozone. Ozone depletion may also contribute to the frequency, severity, and duration of some infectious diseases due to ultraviolet's ability to suppress the immune system. There are many uncertainties about the effect of UV-B on immune responses, although it appears that neither pigmentation nor sunscreens offer effective protection [5].

INDIRECT EFFECTS ON HUMAN HEALTH

Food Production and Nutritional Health: Global climate change would have mixed effects on the productivity of agriculture, livestock, and fisheries. In tropical and subtropical areas, global climate change may lead to droughts, flooding, and the emergence of new plant diseases, decreasing food production in many areas where food supplies are already insecure. Meanwhile, crop productivity may increase in other regions, mostly in the higher temperate latitudes such as Canada, Siberia, and Patagonia. However, agricultural projections are strongly dependent on assumptions about technological advances and patterns of consumption. Over 800 million people are chronically undernourished today, particularly in the developing world, and malnutrition is an underlying cause of childhood mortality. With further population growth, malnutrition may increase the vulnerability of these populations to endemic diseases and epidemics. Some areas may need to change crops, planting practices, and diet, further increasing vulnerability during the period of transition. Such regions might be helped by advance warning of conditions that might cause crop failures. Overall, models project the world may be able to produce enough food to feed future populations. However, changes in regional patterns of production could be significant, and in the long term, nutritional security can only be ensured through education and training, higher incomes, favorable market mechanisms, political stability, and population controls [6].

Fresh Water Quality and Quantity: Great spatial and temporal variability characterize water availablility. Climate change may exacerbate such variations. Today 1 billion people lack access to clean and abundant drinking water, and even more are without adequate sanitation. Adjustments to water shortages can be managed where physical infrastructure (reservoirs, pipelines, and canals) and water management institutions exist. Increasing populations dependent on limited sources served by isolated systems are at more risk. Landscapes may erode or stabilize as precipitation alters vegetative cover, thus affecting runoff and transport of sediment and pollutants [7].

Air Pollution and Allergens: The same industrial processes that produce greenhouse gases will also produce increased urban air pollutants, and they too can pose major health risks. Levels of fine particulates (from fossil fuels and wood smoke) and ozone (from photochemical reactions) are known to be associated with higher levels of hospital admissions for respiratory diseases. Fine particulates also appear to be associated with admissions for heart disease and with general mortality. In the United States, where air pollution is relatively low compared with

Mexico City and some Asian cities, it nevertheless contributes to 70,000 excess deaths and 1 million additional hospitalizations annually. In the future, as global increases in energy production lead to higher levels of particulates, and increases in temperature and ultraviolet radiation accelerate the reactions that produce ozone and other secondary pollutants, the health effects of air pollution on a global scale could be staggering. Higher temperatures and humidity may also lead to higher concentrations of plant pollen and fungal spores that cause allergic disorders such as asthma and hay fever [8].

Weather Disasters and Rising Sea Level: El Niño is associated with increased rainfall and floods in some regions. Long-term climate change over the entire planet may result in an increase in extreme weather events, such as droughts, floods, and cyclones. These events could increase the number of deaths and injuries and the incidence of infectious diseases and psychological disorders, as well as causing indirect effects through food shortages and the proliferation of disease vectors. A 40-centimeter rise in sea level would approximately double the number of people who are currently exposed to flooding each year in areas like Bangladesh. It could also contribute to the loss of coastal and delta farmland, as in Egypt, and to the destruction of food supplies. Rising sea level also increases the vulnerability of costal cities, low-lying areas, and small islands to damage during storms [9].

Social and Demographic Dislocations: Global climate change would alter patterns of employment, wealth distribution, and population settlement throughout the world. Physical conflicts might also arise over depleted environmental resources such as farmland, surface water, and coastal fisheries. Biodiversity would also be affected. The greatest destabilizing effects would likely be experienced in areas of Africa which are already highly vulnerable. At the same time, populations may be moving out of tropical and coastal areas and into cooler wilderness areas where they will be exposed to new and unfamiliar health threats. From another point of view, the difficulty of responding to global climate change lies in the rapid pace of the change—the projected rate of change is greater than has occurred on earth in the past 10,000 years. Although it appears that some of the global climate changes may be dealt with by the industrial world, adaptation will be more difficult in the developing world. The pace of global climate change may be complicated by an inadequate pace of institutional change [10].

.

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON WATER CYCLE AND HEALTH

Climate change is happening; no one is debating that fact anymore even though the reasons for change in climate (i.e. natural or anthropogenic) might be still debatable! Natural hazards are increasing as can be observed from fl oods, famine and intensity and number of hurricanes in the U.S., increased famine in Africa. This is not only causing loss of property, but is also increasing diseases (in the affected areas) and adding to the economic burden.

Global warming has accelerated in the recent years; while the past 100 years saw an increase of about 0.75°C, the rate of increase of temperature in the past 25 years has been over 0.18°C per decade. The warming has been observed more over land than oceans. This rise in temperature is leading to sea-levels rise, glaciers melt and changes in precipitation patterns (for example from 1900 to 2005, precipitation has increased in eastern parts of North America, northern Europe, northern and central Asia and southern Europe while it has declined in southern Africa, parts of southern Asia, the Sahel, and the Mediterranean). In general, extreme weather events are increasing in terms of their frequency and intensity.

Impact of climate change is on both freshwater resources and also on oceans in terms of acidifi cation, coral reef bleaching. A change in ocean acidity is likely to reduce the ocean's capacity to absorb CO_2 from the atmosphere, thus compounding the effects of climate change, and will affect the entire marine food chain. Also, large-scale, irreversible system disruption and the destabilization of the Antarctic ice sheets are serious risks: changes to polar ice, glaciers and rainfall regimes have already occurred.

Melting ice and thermal expansion of oceans are causing sea level rise. In addition to exposing coastlines, where the majority of the human population live, to greater erosion and fl ooding pressures, rising sea levels might also lead to salt water contamination of groundwater supplies, threatening the quality and quantity of climate change and water resources freshwater access to large percentages of the population. According to World Resources Institute (2000, [11] a 1 metre rise in sea level will displace 80 percent of the population of Guyana.

Freshwater is important because challenges related to freshwater: too much water, too little water or quality of water (pollution) are all exacerbated by climate change [12].

There are several human-environment interactions that affect water, weather, and climate. These include dams, diversions, irrigation, deforestation, wetlands drainage, and the production of impermeable surfaces such as pavement. Though humans have been "pushing water around" since early civilization, the 20th century has seen a rapid acceleration in the scope, scale, and intensity of these interventions [13]. Over 45,000 dams were built in the 20th century and globally there are now over 800,000 dams, including over 45,000 "large" dams with

embankments of over 15m or reservoirs of over 3 million cubic meters ([13]; [14]). In total, these dams have impounded 500,000 km2 (an area roughly the size of France) and displaced between 40 and 80 million people [13].

Impact of Climate Change

Since climate change is severely affecting the availability of water and its quality, it also poses a direct challenge to health: water-borne, water wash and vector related diseases are spreading to wider geographical areas posing challenges to both the existing health system and safe water supply. Southern countries and vulnerable people, but also poor people in industrialized countries have been the main victims and suffering the most from both climate-induced physical impacts (temperature and sea-level rise, precipitation change, increase in the number and intensity of natural hazards such as drought, heat waves, storms and fl oods and societal effects (famine, food protests, diseases, migration) [15]. It can be seen in Figure 2 that as the temperature rises, the impact gets more severe. For example, in case of food: a slight or one degree rise might raise yield in some places at higher altitudes, while any further rise will actually lead to failed crops in many areas, but will have a more drastic affect in developing countries.

Usually, predictions of temperature rise are a global average; essentially temperature will increase in some parts more than the others. Even one degree temperature rise will have an impact on water systems, small glaciers, ecosystems and crops (affecting food security).

Regional impacts of climate change at places will be more than global average3. For example, models of climate change predict that in the U.S. annual-mean temperatures might rise by 2°C to 3°C over the next 100 years, however northern regions will experience a greater increase of up to 5°C and some places such as northern

Alaska might also see an increase of up to 10°C. Related to this increase in temperature other changes are also expected, such as in the U.S. precipitation, is predicted to continue to increase overall. Some GCMs predict a 20 percent increase for northern North America, a 15 percent increase in winter precipitation for northwestern regions, and a general increase in winter precipitation for central and eastern regions. Models predict a 20 percent decrease in summer precipitation, especially for southwestern regions, and a general decrease in summer precipitation is projected for southern areas.

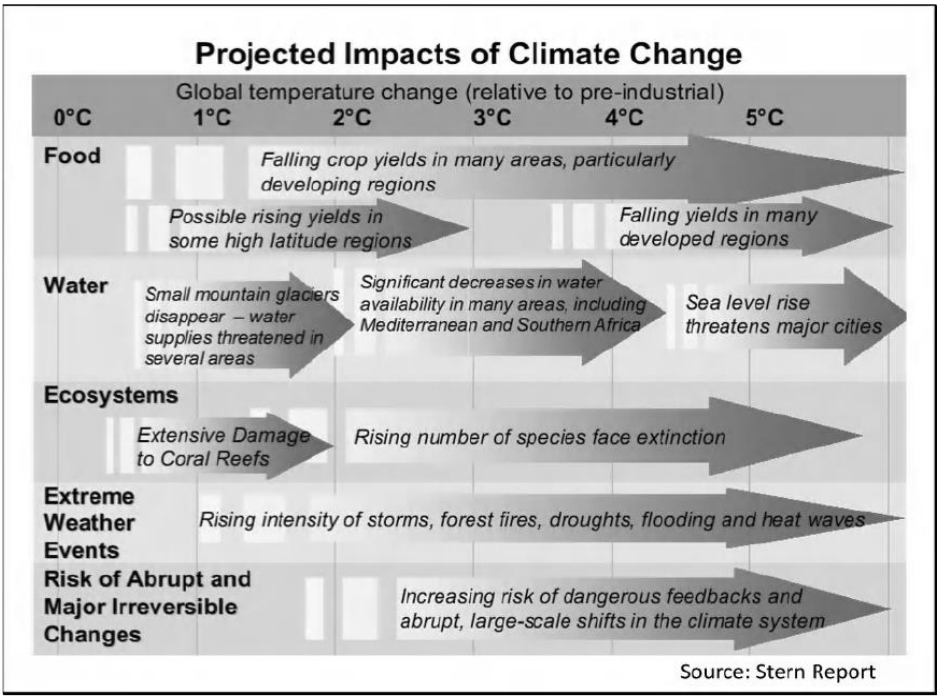


Figure 2. Projected impacts of climate change. Source: Stern Report [16].

Although, there are predictions that precipitation will increase in most regions, yet there will be net decreases in water availability in those areas due to offsetting increases in evaporation [17; 18].

Besides impact on climate and health, climate change will also impact movement of people, agriculture (food security), energy and industries (because of variation in availability of water). The direct supplyside effects of climate change outlined previously, including increased water scarcity, fl ooding, accelerated glacial melting and rising sea levels, have the potential to accelerate human migration. Studies have shown that climate change refugees will range between 250 million to about a billion between now and 2050. Just to give a perspective to it—in New Orleans the population diminished by 29 percent after Katrina.

Agriculture is by far the largest consumer of freshwater. Globally, about 70 percent of freshwater is used in irrigated farming, and far greater volumes of water are used in rainfed agriculture. Although average temperatures are predicted to increase more dramatically in the northern hemisphere, the changes in temperature- dependent agriculture will be felt more signifi cantly in developing regions because of their heavy reliance on small-scale farming, dependence on rainfed agriculture, a fragile infrastructure and limited capacity to respond to emergencies. Many African communities will be at risk, particularly subsistence farmers with low incomes in sub-saharan Africa. This will essentially impact income of these small farmers, as increased droughts may exacerbate poverty levels and increase vulnerability of these people.

Current climate variabilities already present serious challenges for food security in many developing countries. Rural based populations in countries that rely on rainfed-agriculture and primarily depend on subsistence farming

systems are especially vulnerable. In general, water scarcity can limit food production and supply, putting pressure on food prices and increasing countries' dependence on food imports.

Climate change and health

The greatest health impact of climate change will be borne by the poor (mainly in developing countries, but also in developed countries) who are already facing a host of health- related problems due to socio-economic conditions.

As shown in the Figure 3, climate change will impact us in different ways: by changing regional weathers and extreme weather conditions i.e. too much or too little rainfall, higher temperatures leading to heat waves causing illnesses and death, especially of vulnerable people, worsening air quality due to smog, increasing water and food-borne diseases etc.

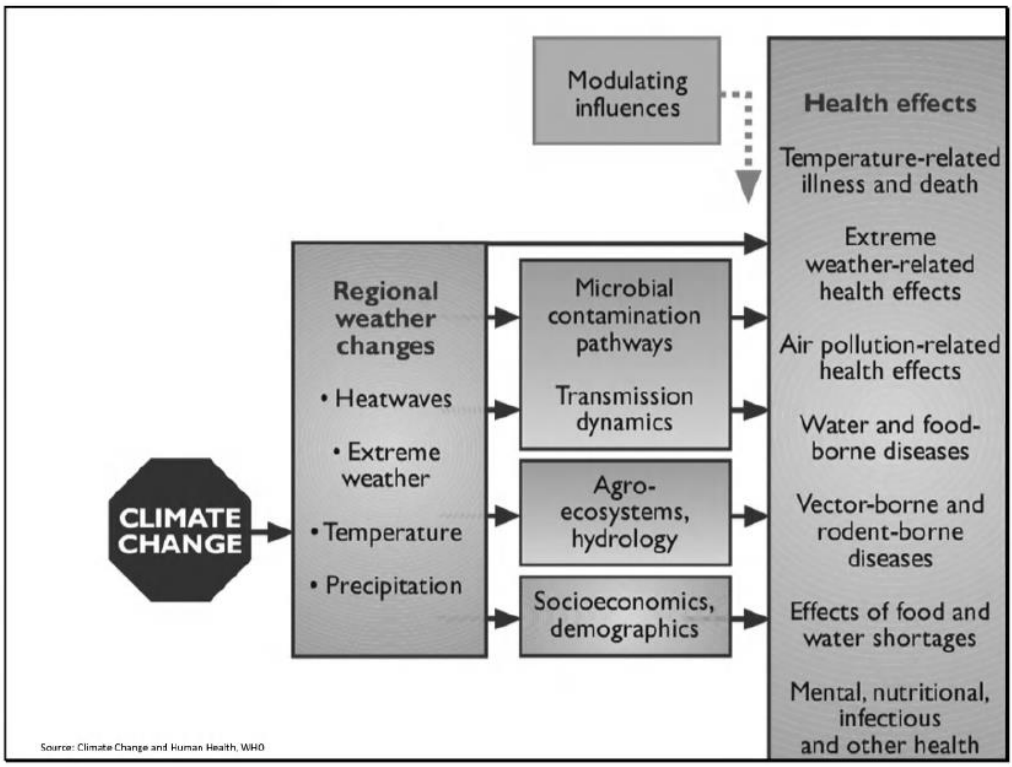


Figure 3 Impacts on climate change on health. Source [19].

The IPCC report [20] shows that the impact of climate change on health issues will be mainly negative (Figure 4). For example, in case of malaria, it will spread to more regions including higher altitudes because of favourable conditions due to change in climate (also shown in Figure 5).

With the change in temperature and precipitation pattern spread of malaria will vary (since the spread of disease is directly related to the amount of precipitation and temperature for mosquitoes to thrive): in some areas the geographical range of the disease will contract while in the other areas it will expand and even the season when it is transmitted might change. There is a direct co-relation between higher minimum temperatures and incidences of malaria outbreaks, which has been shown in case of Ethiopia. Countries such as Senegal, for example, has seen a 60 percent drop in malaria cases in the past 30 yr because of reduced precipitation. However, in areas where temperatures are rising in the traditionally cool climates and higher latitudes, these areas will become more suitable reproductive habitats for the mosquitoes spreading malaria. In other places already warm zones may also see an increase in mosquito populations. Although, countries such as Senegal have seen a decrease

in malaria incidences, it has returned to some places such as central and northern South America, most of Asia, some Mediterranean countries and much of the former USSR. Study estimates show that by 2080, approximately 260–320 million more people are likely to be affected by malaria [22].

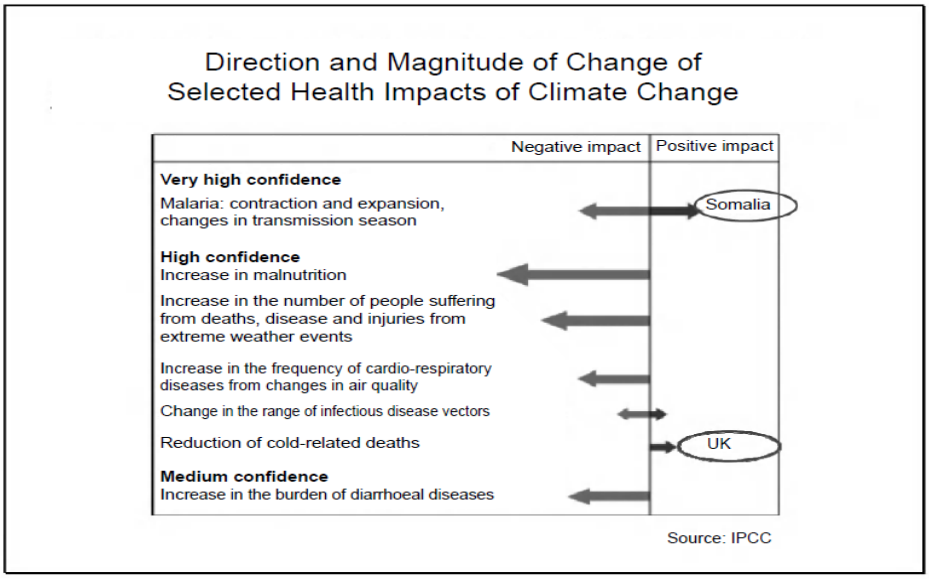


Figure 4. Direction and Magnitude of Change of Selected Health Impacts of Climate Change. Source [20].

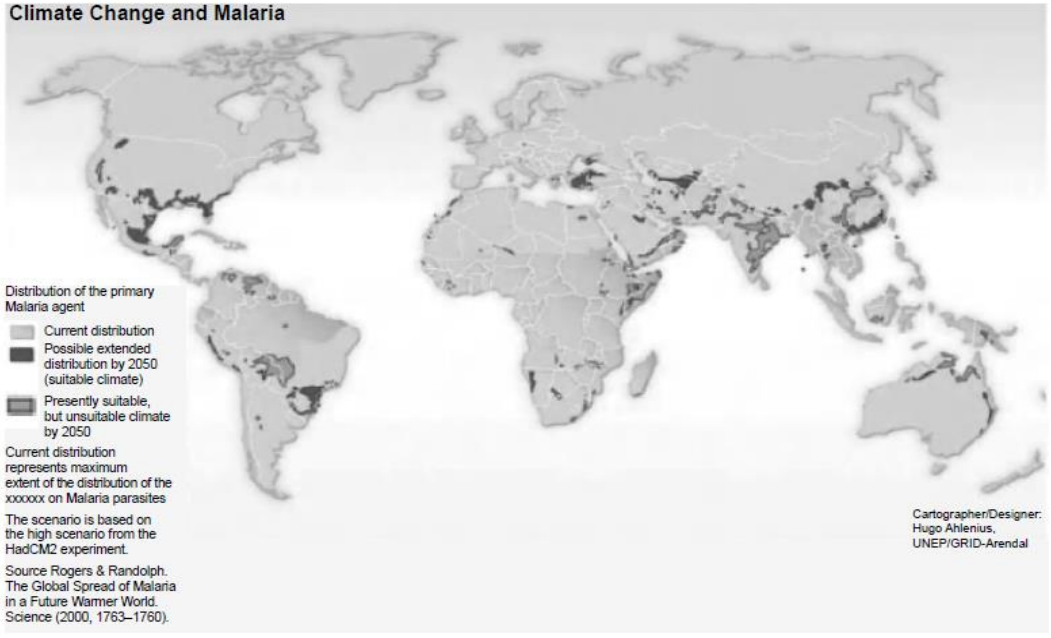


Figure 5. Climate Change and Malaria. Source [22].

The IPCC report [20] also predicts that malnutrition will be negatively impacted by the change in climate (Figure 4), which is expected if agriculture will be impacted by change in precipitation threatening food security. Even

today malnutrition is one of the most serious global health problems (FAO and WHO), about 178 million children globally are stunted and 1.5 million die annually from wasting, both important indicators of malnutrition. According to the IPCC report [20] there is an 80 percent cent chance that climate change will increase malnutrition and consequent disorders [22] .

Climate change will also have an impact on air quality, especially in cities, which will exacerbate the urban heat-island effect and increase the number of smog days and issues related to smog. Poor air quality is also known to cause respiratory health problems. The IPCC report [20] and other studies have shown that there will be an increase in cardio-respiratory morbidity and mortality associated with ground-level ozone [22].

The IPCC reports [20] predict that there will be an 80 percent chance of increase in mortality and morbidity due to climate change related Extreme Weather Events (EWEs). In 2007, 95 percent of the 16,000 global fatalities from EWEs could be directly attributed to climate change. Because of the change in temperature and precipitation patterns, EWEs have changed in frequency and intensity.

In August 2003, a heatwave in France caused more than 14,800 deaths while other European countries such as Belgium, the Czech Republic, Germany, Italy, Portugal, Spain, Switzerland, the Netherlands and the UK all reported total deaths in the range of 35,000. In France, around 60 percent of the heatwave deaths reported were those of seniors aged 75 and above [20]. Around the same time other impacts were also caused or exacerbated by the extreme weather conditions, such as outdoor air pollutants (tropospheric ozone and particulate matter) [20], and air pollution because of forest fires.

Extreme weather conditions not only increase air pollution and deaths related to extreme temperatures they also exacerbate water- borne and vector- borne diseases and increase their transmission. For example, when there is fl ooding in South Asia due to poor drainage and storm water management system rate of infectious disease transmission increases.

Also, in Brazil leptospirosis epidemic was linked to extreme fl ooding; cholera outbreaks have been linked to droughts in Amazon (due to limited access to safe drinking water) and epidemic meningitis have been linked to droughts in West Africa [22].

As discussed in the IPCC report [20] overall impact of changing temperatures will be negative increasing heatwave related and air pollution related deaths, however in some places the average increase in temperature might bring some positive impact in temperate regions. For example, in UK warmer winters might reduce cold weather-related deaths [22].

As discussed in the IPCC report [20], impact of climate change on health will include spread of endemic and epidemic infectious diseases, water-borne diseases and vector-borne diseases. As temperatures change mosquitoes spreading diseases will move to higher latitudes where they did not exist before. For example, West Nile and dengue have crept up in North American provinces.

Increasingly, the focus of climate change literature is leaning towards prediction, adaptation, and mitigation of possible climate events on the global, regional, and country levels, with emphasis on the role of carbon as a greenhouse gas (GHG). However, in recent years, a body of literature has emerged which examines the essential roles of water in global environmental change [13; 23; 24]. As the most abundant GHG, and greatest single contributor to the "greenhouse" effect, water vapour exerts a warming effect on global temperatures. However, water vapour condenses, forming clouds which in turn refl ect radiation, thus exerting a cooling effect as well. These dual properties make water vapour not only the most abundant, but also the most important GHG [23].

Climate change and water stress

"Of all basic needs, access to clean water is probably the most important" argue Potter and others [25]. Water is essential for all aspects of life, especially when people depend on it for sustaining their livelihood. Only 2.5 percent of all water is freshwater, and most of it is frozen in Antarctica and the Greenland icecaps. Only 1 percent of the world's total freshwater is available for human use [26]. Though water cannot be depleted, pollution and salt water intrusion threatens its human use. In combination with increasing demand and climate variability, water can become scarce, thereby affecting human security. Developing countries in particular are at greater risk to experience water stress due to their geographical location and dependency on climate-sensitive economies.

Even today, about 900 million people are without access to clean drinking water [27]. In sub-Saharan Africa, about 70 percent of the population work in subsistence agriculture, highlighting the importance of suffi cient and clean water supplies [28]. Water is a source of economic activity, crops cannot thrive without it, but it can also contain bacteria, protozoa, viruses and parasites causing water-borne diseases, such as cholera, bilharzia and typhoid fever.

The majority of water, and much of it is freshwater, is consumed for (irrigation) agriculture and industrial processes. Irrigation agriculture consumes large amounts of water to the extent that in dry seasons, water levels may become critically low. Over-extraction of water can threaten entire ecosystems, and jeopardize food production [29]. At the same time, the use of pesticides and fertilizers releases nutrients to the water cycle contributing to water pollution [30]. The pollution and overexploitation of freshwater reservoirs can lead to water stress.

When water is considered a free good, it can be challenging to control and restrict overuse of groundwater. A study in India shows that groundwater tables have fallen by more than one metre per year, as there are no limits to extraction. Especially rural areas close to cities are affected as they provide the needed water to the urban sprawl [31].

Other factors leading to water stress are increasing population, largely in urban areas, changing consumption patterns and growing economic activities that are putting more pressure on water resources (Scheffran 2010). Global population is estimated to reach 11 billion in 2050 [26]. Most of this growth will happen in urban centres. Yet, urban growth may not be per se negative. Urban areas are characterized by higher population densities, which could imply lower water supply costs. Yet, the rates of diseases and mortality in developing countries are still high [30]. In fact, piped water may reduce costs but the water maybe of low quality [30;31].

In many instances, economic considerations come fi rst. China is a good example, where the economy has grown and still is growing tremendously at the cost of the environment. As Gleick describes: "China's water resources are over allocated, ineffi ciently used, and grossly polluted by human and industrial wastes, to the point that vast stretches of rivers are dead and dying, lakes are cesspools of waste, groundwater aquifers are over-pumped and unsustainably consumed, uncounted species of aquatic life have been driven to extinction, and direct adverse impacts on both human and ecosystem health are widespread and growing" (Gleick 2010). For many developing countries, tourism is a vital source of income. It is, however, questionable that in times of water stress, tourists have free access to water whereas the local population is subject to water regulation (Benjaminsen and Svarstad 2006). To lower these pressures, recycled water could be used. In some countries, treated waste water is used for irrigation (Madeley 2002). Another benefi t of nutrient-rich sewage is that it acts as a fertilizer (Madeley 2002). However, this is not without risks, as wastewater can contaminate drinking water, making it unsafe to drink.

Climate change, or increasing temperatures, will most certainly impact on the hydrological cycle, and increase competition for water resources. It is less clear, as to what extent increased water stress affects (national and international) security. Some have argued that water is becoming the new oil, claiming that competition over scarce freshwater will spark armed confl icts (Clarke and King 2006). The literature is divided, and there is little evidence in the past that confl ict over shared rivers or freshwater lakes have led to armed confl ict. On the contrary, case-study research demonstrates that cooperation is more likely to emerge than confl ict (Scheffran 2010). As Scheffran(2010) argues: "historical international relations over shared freshwater resources were overwhelmingly cooperative; violent conflict was rare and far outweighed by the number of international water agreements." On the individual level, water stress can mean restrictions in water use and overall availability.

Most important and apart from external factors such as climatic disturbances, access to water, is context specific. Hierarchal divisions often regulate access to water and affect water distribution. Adams argues that "the distribution of water refl ects the distribution of power" [30]. A good example is the privatization of water. There is an ongoing debate whether privatization is addressing overuse. By serving profit maximizing motives, it may not prevent over-extraction in the long term, but most importantly, privatization can lead to unaffordable water for the poor. In this context, water stress may make the poor worse off, illustrating the link between poverty and water availability [30].

In the worst case, regulating water distribution through privatization can spark confl ict, as witnessed in Bolivia in 2000. In the city of Cochabamba, street fi ghts and demonstrations erupted when water utilities were privatized. This was at the disadvantage of the poor, who, after privatization, had to pay 20 to 30 percent of their income for water. Households earning as little as US$ 80–100 monthly income had to pay up to US$ 20 for water (Chávez 2006). Privatization often leads to asymmetric distribution of water as the poor pay proportionally more for the service than those who are well off. What is needed is a pricing structure that acknowledges the ability to pay as well as generating necessary investments to ensure access to safe water.

Adequate water management is needed to address water stress in the future. It is not the absolute availability or scarcity of water that creates water stress but the mismanagement of it. Man-made pollution is one of the main factors: "In developing countries 90% of waste water and 70% of industrial waste runs straight into the surface water without any form of treatment. As a result, more than 5 million people die every year of water-related diseases, 10 times more than the number of victims of armed confl icts" (GRID-Arendal 2010).

To tackle these challenges, a proactive rather than a reactive approach to water management becomes necessary. Proactive means to anticipate the water scarcity before it becomes an acute issue. This requires sustainable water management, and "water availability can be increased through artifi cial groundwater recharge, damming, rainwater harvesting and desalination" (Arthurton et al. 2007). Desalination has been successfully established in the Middle East, though it consumes great amounts of energy, making it a limited solution for ensuring global water supply, especially for the developing world. Clean water and health are vital for sustainable development. Climate change will most likely have impacts on the water cycle and human health but the change and relative infl uence of climatic factors remain uncertain. There is a little evidence that water stress or health risks will lead to armed confrontation or "water wars" but there is compelling evidence that water stress and health risks accelerated by climate change will affect human security. On the contrary, cooperation over shared water bodies is more common than confrontation. And, while observed global temperatures continue to rise, the number of armed confl icts has decreased worldwide

By focusing on human security, the threats of a warmer and more variable climate become more tangible. With growing populations, the challenge will be the provision of safe and clean drinking water while avoiding water pollution. Sustainable water management is a key here. A warmer climate is likely to reduce water availability while reducing agricultural productivity. Uncertainties remain about the relative importance of temperature and precipitation on agriculture, calling for future research. Societies that derive their income from subsistence agriculture will be directly affected by changes in the hydrological cycle. Rising temperatures and changing precipitation patterns are also connected to human health, impacting on the prevalence of malaria and tick-borne encephalitis. Though the research community is divided on the spread of infectious disease due to warming, malaria and tick-borne diseases are climate-sensitive, and globally one of the major health risks. Most important, strategies to mitigate climate change will have unintended consequences for human wellbeing, such as increasing food prices as a result of biofuel production or nuclear contamination and proliferation, with serious impacts on human wellbeing and international security. The challenges for policymakers are clear whereas possible solutions and their ripple effects remain uncertain. Bringing climate change research back to the individual level, acknowledges our vulnerability but also our potential to fi nd adequate solutions to climate change.

References

[1] WHO. 2020. Climate change indicators and impacts worsened in 2020
[2] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health
[3] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1995. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report

of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Watson, R.T., editor; , M.C. Zinyowera, editor; , and R.H. Moss, editor. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press.

[4] CISET (Committee on International Science, Engineering, and Technology) Working Group on Emerging and Re-emerging Infectious Diseases. 1995. Infectious Disease: A Global Health Threat. Washington, DC: National Science and Technology Council.

[5] IOM. 1992. Emerging Infections: Microbial Threats to Health in the United States. Joshua Lederberg, editor; , Robert E. Shope, editor; , and Stanley C. Oaks, Jr., editor. (eds.). Washington, DC: National Academy Press.

[6] WHO. 1990. Potential Health Effects of Climatic Change. Geneva: WHO.

[7] WHO. 1995. Chagas Disease: Important Advances in Elimination of Transmission in Four Countries in Latin America. WHO Press Office Feature No. 183, Geneva: WHO.

[8] Chivian, editor; , Eric, editor; , Michael McCally, editor; , Howard Hu, editor; , and Andrew Haines, editor. (eds.). 1993. Critical Condition: Human Health and the Environment. Cambridge, MA: MIT Press.

[9] Epstein, Paul R. 1995. Course Reader: Global Climate Change, Ecology and Public Health. Prepared for the NSTC-IOM Conference on Human Health and Global Climate Change, 11–12 September 1995.

[10] World Resources Institute. 2000. United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, and World Bank. World Resources, 2000–2001: People and Ecosystems, the Fraying Web of Life. World Resources Institute, Washington, D.C.

[11] Bates, Bryson, Zbigniew W. Kundzewicz, Shaohong Wu, and Jean Palutikof. 2008. IPCC. "Climate Change Mitigation Measures and Water." In Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat.

[12] Conca, K. Pushing. 2006. Rivers Around: The Cumulative Toll on the World's Watersheds and Freshwater Ecosystems. pp. 73–93. In: Governing Water: Contentious Transnational Politics and Global Institution Building. MIT Press, Cambridge, Mass.

[13] WCD. 2000. Dams and Development: a New Framework for Decision-making : the Report of the World Commission on Dams : an Overview. Earthscan, 2000. London.

[14] UNESCO-WWAP. 2009. Climate Change and Water—An Overview from the World Water Development Report 3: Water in a Changing World, A United Nations World Water Assessment Programme Special Report. Water Aid, Climate Change and water Resources. 2007, accessed from http://www.wateraid.org/documents/climate_change_and_water_resources_1.pdf

[15] Velma I. Grover. 2013.Impact of climate change on water and health. Publisher: CRC Press/Taylor&Francis Group.

[16] Adams, R.M. and D.E. Peck. 2008. Effects of Climate Change on Water Resources, Choices, 2008, 23(1) accessed from http://www.choicesmagazine.org/2008-1/theme/2008-1-04.

[17] Gaaloul N., 2021. Water Resources and Climate Change from History to Covid'19 in the MENA Regions: Impact of the coronavirus (covid-19) on the environment and water resources. Langue du livre: Anglais. ISBN: 978-620-4-71658-9. Publisher: LAP LAMBERT Academic Publishing 368 pages. https://www.morebooks.de/store/fr/book/water-resources-and-climate-change-from-history-to-covid-19-vaccines/isbn/978-620-4-71658-9

[18] McMichael, A.J., D.H. Campbell-Lendrum, C.F. Corvalan, K.L. Ebi, A.K. Githeko, J.D. Scheraga and A. Woodward. 2003. Climate change and human health : risks and responses. WHO 2003 accessed from http://www.who.int/globalchange/publications/climchange.pdf

[19] Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson [eds.] 2007. Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.Cambridge University Press, Cambridge, UK.

[20] Water Aid Nepal. 2004. The Water and Sanitation Millennium Development Targets in Nepal: What do they mean? What will they cost? Can Nepal meet them? WaterAid Nepal, Kathmandu.

[21] Accenture. 2011. Climate change and Health: Framing the Issue. Accessed from http://nstore.accenture.com/acn_com/PDF/Accenture_Climate_Change_and_Health.pdf

[22] Trenberth, K.E., J.T. Fasullo and J. Kiehl. 2009. Earth's Global Energy Budget. Bulletin of the American Meteorological Society 90(3): 311–23. doi:10.1175/2008BAMS2634.1.

[23] Varis, O., T. Kajander and R. Lemmelä. 2004. Climate and Water: From Climate Models to Water Resources Management and Vice Versa. Climatic Change 66(3): 321–44. doi:10.1023/B:CLIM.0000044622.42657.d4.

[24] Potter, R., T. Binns, J. Elliott and D. Smith. 2008. Geographies of development: Pearson- Prentice Hall, Harlow, London, New York.

[25] Corcoran, E., C. Nellemann, E. Baker, R. Bos, D. Osborn and H. Savelli. 2010. Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal Nairobi.

[26] WHO/UNICEF. 2010. Report of the WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme on water Supply and Sanitation. United Nations Children's Fund and the World Health Organization. New York and Geneva.

[27] Allen, T. and A. Thomas. 2002. Poverty and Development: into the 21st Century. Oxford University Press, Oxford.

[28] Postel, S.L. 2000. Entering and Era of Water Scarcity: The Challenges Ahead. Ecological Applications 10(4): 941–948.

[29] Adams, W.M. 2009. Green development: Environment and Sustainability in a developing world. Routledge, Oxford.

[30] Grönwall, J.T. 2008. Access to Water. Rights, Obligations and the Bangalore Situation. Linköping Studies in Art and Science 439.

Journal International Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement : Volume (vii), Numéro 1 – Mars 2022

JOURNAL INTERNATIONAL

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

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

Volume (vii) - Numéro 1 – Mars 2022

Eau-Santé-Climat'2022

Changement Climatique : Quels effets sur notre santé ?

Rédacteur en Chef : Pr Noureddine Gaaloul

Publié par :

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

Comité Scientifique International (CSI-EC'2022)

Noureddine Gaaloul	*Prof. Université de Carthage – IRESA - INRGREF (Tunisie)*
Hamadi Habaieb	*Prof. Université de Carthage – IRESA -INAT (Tunisie)*
Zouhaier Nasr	*Prof. Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)*
Mohamed Hachicha	*Prof. Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)*
Zouhaier Hlaoui	*Prof. Université de Tunis - Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis (Tunisie)*
Adel Kharroubi	*Prof. Université de Gabès – ISSTEG (Tunisie)*
Rachid Boukchina	*M.Conf. Université de Gabès – ISSTEG (Tunisie)*
Noureddine Hamdi	*Prof. Université de Gabès – ISSTEG (Tunisie)*
Taoufik Hermassi	*M.Conf. Université de Carthage – IRESA -INRGREF (Tunisie)*
Mohamed Habib Sellami	*M.Conf. Université de Jendouba – IRESA- ESIM (Tunisie)*
Hechmi Belaid	*M. Assistant. Université de Jendouba -IRESA- ESIM (Tunisie)*
Rim Katlane	*M.Conf. Université de la Manouba - Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités (Tunisie)*
Ibrahima Amadou Traoré	*Expert Hydrogéologue*
Mohamed Meddi	*Prof. ENSH, (Algérie)*
Azzedine Hani	*Prof. Univ. Annaba (Algérie)*
Larbi Djabri	*Prof. Univ. Annaba (Algérie)*
Salah Eddine Ali Rahmani	*Prof. Univ. des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Algérie)*
Saadane Djorfi	*Prof. Université de Annaba (Algérie)*
Mohammed Achite	*Prof. Université de Chlef (Algérie)*
Abdelhalim Yahiaoui	*Prof. Université de Bechar (Algérie)*
Mohamed Bessenasse	*Prof. Université de Saad Dahlab- Blida (Algérie)*
Benabadji Noury	*Prof. Université de Tlemcen (Algérie)*
Abdessamad Merzouk	*Prof. Université de Tlemcen (Algérie)*
Abdelhalim Yahiaoui	*M.Conf. Univ. Bechar (Algérie)*
Guergazi Saâdia	*M.Conf. Université de Biskra (Algérie)*
Beloulou Laroussi	*M.Conf. Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)*
Guendouz Abdelhamid	*M.Conf. Université de Blida1(Algérie)*
Khoualdia Wacila	*M.Conf. Université de Souk-Ahras (Algérie)*
Belkacem Bekkoussa	*M.Conf. Université Mustapha Stambouli de Mascara (Algérie)*
Ali Essahlaoui	*Prof. Université Moulay IsmailMeknes (Maroc)*
El Ouali Abdelhadi	*Prof. Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)*
Abdellah El Hmaidi	*Prof. Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)*
Imad Manssouri	*Prof. Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)*
Abdelmajid Moumen	*Prof. Université Nadour (Maroc)*
Mhamed Amyay	*Prof. Université deFès (Maroc)*
Abdelaziz Abdallaoui	*Prof. Université Moulay Ismail (Maroc)*
Nadia Lahlou	*M.Conf. Université Mohamed V Rabat (Maroc)*
Amadou Thierno Gaye	*Prof. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, (Sénégal)*
Sousou Sambou	*Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)*
Diop Ngom Fatou	*Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)*
Abdoulaye Faty	*Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)*
Soro Nagnin	*Prof. UFR STRM (Cote d'Ivoire)*
Gnamba Franck Maxime	*Prof. UFR STRM (Cote d'ivoire)*
Soro Nagnin	*Prof. UFR STRM (Cote d'Ivoire)*
Cush Ngonzo Luwesi	*Prof. Univ. Dem. Rep. (Congo)*
Koussouhon A. Leonard	*Prof. FLLAC/ UAC (Congo)*
Koumassi Dègla Hervé	*Prof. LACEEDE/UAC (Bénin)*
Hamma Yacouba	*Prof. 2iE (Burkina Faso)*
Harouna Karambiri	*Prof. 2iE (Burkina Faso)*
Lienou Gaston	*Prof. Univ. Yaoundé (Cameroun)*
Gnandi Kissao	*Prof. Univ. Lomé (Togo)*
Hamadoun Bokar	*Prof. Univ. ENI-abt (Mali)*
Salina Sanou	*Pan African Climate Justice Alliance (Kenya)*
Saeid Eslamian	*Prof. Université de. Isfahan (Iran)*
Amadou Gaye	*Prof. CR4D (Ethiopia)*
Richard Anyah	*Prof. CR4D (Ethiopia)*
Benjamin Lamptey	*Prof. CR4D (Ethiopia)*
Aqeel Al-Adili	*Prof. Univ. Technology (Iraq)*
Moumtaz Razack	*Prof. Université de Poitiers (France)*
Lucila Candella	*Prof. Univ. Catalonia (Spain)*
Fotis K. Pliakas	*Prof. Univ. Thrace (Greece)*
Andreas Kallioras	*Prof. Univ. Athens (Greece)*
Christoph Schüth	*Prof. Tech.Univ. Darmstrad (Germany)*
Jean-François Deliège	*Prof. Univ. de Liège (Belgique)*
Meriam Gaaloul	*Faculty of Architecture La Cambre Horta - ULB (Belgique)*

Préface

Les effets du réchauffement climatique sur la santé : Les pays en développement sont les plus vulnérables.

Entre2030 et 2050, les changements climatiques devraient générer près de 300 000 décès supplémentaires par an, en accroissant la malnutrition et la sous-alimentation des enfants, les maladies transmises par des insectes, les diarrhées et les stress liés à la chaleur. Les influences potentielles de ces changements sur la santé sont donc multiples et liées. A ces dommages, il faut ajouter les migrations de populations fuyant des modifications profondes de leur cadre de vie : diminution des rendements agricoles, inondations, élévation du niveau des mers… Près de 250 millions de « réfugiés climatiques » sont attendus à l'horizon 2050. Chacun a en mémoire l'excès de mortalité en Europe lors de la canicule de l'été 2003 où l'on a recensé 70 000 décès sur le seul mois d'août. Les effets climatiques sur les maladies infectieuses sont plus complexes. Mais les entomologistes sont convaincus que l'élargissement des zones chaudes et humides à la surface du globe décuplerait les populations d'insectes vecteurs de virus. Enfin, les impacts économiques des changements climatiques sont éloquents : le coût estimé des dommages directs pour la santé se situe entre 2 et 4 milliards de dollars par an d'ici 2030.

La température a augmenté d'environ 0,85°C dans le monde au cours des 130 dernières années. Cette augmentation est essentiellement due à celle des gaz à effet de serre. Ces 25 dernières années, le rythme s'est accéléré et l'on est à plus de 0,18°C de réchauffement par décennie. Le niveau des mers s'élève, les glaciers fondent et la répartition des précipitations change. A ces événements factuels, s'ajoutent des changements climatiques globaux, plus complexes à mesurer et qui se manifestent, entre autres, par des événements météorologiques extrêmes (sécheresse, inondations, vagues de chaleur) augmentant en intensité et en fréquence (Lire Cyclones tropicaux : impacts et risques). A part quelques rares effets du changement climatique que l'on pourrait considérer comme positifs (ex. baisse de la mortalité hivernale dans les zones tempérées), ceux-ci apparaissent délétères pour la santé. A titre d'exemple, on peut citer les impacts négatifs du changement climatique sur les rendements de la plupart des cultures. Dans leur cinquième rapport d'évaluation, les membres du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) constatent de nombreuses périodes d'augmentation très rapide du prix des produits alimentaires et des céréales, suite à des événements climatiques extrêmes (incendies géants, tempêtes, inondations).

En plus des effets visibles sur les modes de subsistance des populations, le réchauffement climatique risque d'avoir un impact fort et direct sur la santé humaine. Ce sont les régions qui ont le moins contribué au réchauffement climatique qui sont les plus vulnérables aux maladies causées par la hausse des températures et qui risquent de voir le nombre de décès augmenter. Les côtes qui bordent l'Océan Pacifique, l'océan Indien et l'Afrique subsaharienne sont les plus menacées par les effets du réchauffement climatique. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) rapporte que le changement climatique est responsable d'au moins 150 000 décès par an, chiffre qui devrait doubler d'ici à 2030.

Les effets du changement climatique sont déjà perceptibles aujourd'hui et les projections pour l'avenir représentent un risque potentiellement catastrophique et d'une ampleur difficilement acceptable pour la santé humaine. Les effets du réchauffement climatique sur la santé humaine s'ajoutent aux effets des changements liés à la globalisation (changements démographiques, changement sociaux, activité économique).

Selon l'OMS, les zones n'ayant pas de bonnes infrastructures de santé, pour la plupart dans les pays en développement, seront les moins en mesure de se préparer et de faire face à la situation sans assistance. Si un gros effort d'atténuation n'est pas entrepris, il va arriver un moment donné où l'adaptation des systèmes de santé (ex. coups de chaleur) ne sera plus possible. La seule attitude responsable, désormais, serait un changement radical de nos modèles économiques et de nos modes de vie en société. C'est devenu une question de vie ou de mort, pour l'humain comme pour la biodiversité dont sa santé dépend très directement.

Le réchauffement climatique peut provoquer des sécheresses qui risquent d'aggraver les conditions de vie des populations, en particulier en Afrique. Selon le Fonds mondial pour la nature, le changement climatique pourrait avoir un impact considérable sur le régime des précipitations, la sécurité alimentaire et l'approvisionnement en eau de millions de personnes. Selon le rapport du GIEC, d'ici à 2020, 75 à 250 millions de personnes vivant en Afrique n'auront plus accès à un approvisionnement adéquat en eau et seront confrontées à une pénurie alimentaire, avec une baisse de la productivité agricole de l'ordre de 50 %. L'élévation des températures pourrait causer une pénurie alimentaire affectant 130 millions de personnes en Asie et avoir des conséquences graves sur la population africaine.

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.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**
07 Volumes, 20 Numéros, (317 Articles)
07 Volumes, 20 Isues, (317 Papers)

Volume (VII) : 4 Numéros (.. Articles) / 4 Issues (..Papers)
Eau-Santé-Climat'2022 / *Water-- Health -Climate'2021*
Numéro 1 – Mars 2022 *(7 Articles)* Changement Climatique : Quels effets sur notre santé ? / Climate change : What effects on our health ?

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 Intégré 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 (E²C-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 (E²C-2018) /Water-Environement-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 – Décembre2014 *(11 Articles)* Changements Climatiques en Région Méditerranéenne */Climate Change in the Mediterranean Region*

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés

Sandé Zannou
Pression urbaine et vulnerabilite des terres agricoles dans l'arrondissement de vakon (commune de akpro-misserete)
Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,
Vol. (vii), No.1, Mars 2022, pp. 54-67
ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access
www.jiste.org
Scientific Press International Limited
Received: 17 Jan. 2022 / Revised: 23 January 2022 / Accepted: March 2022 / Published: March 2022

Pression urbaine et vulnerabilité des terres agricoles dans l'arrondissement de vakon (commune de akpro-misserete)

Sandé Zannou[1]

[1]Laboratoire de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de Développement Durable (LATEDD)/ Département de Géographie et Aménagement du Territoire/ FASHS/ Université d'Abomey-Calavi (UAC), République du Bén

Résumé

La production agricole dans l'arrondissement de Vakon est confrontée à la réduction des terres et de la fertilité des sols. La présente recherche analyse la vulnérabilité des terres agricoles face à la pression urbaine dans ledit arrondissement. L'approche méthodologique utilisée est basée sur la collecte des données et leur traitement. Les enquêtes socioéconomiques ont pris en compte 142 chefs de ménages et 12 personnes ressources dans six villages de l'arrondissement. Le coefficient de Ruthenberg permet d'évaluer le système cultural pratiqué et Allan pour évaluer la stabilité du sol. Les résultats obtenus ont montré que la croissance démographique (41 %), l'extension urbaine (36 %) et les opérations de lotissement (23 %) sont des déterminants de la pression urbaine dans l'arrondissement. Le taux d'urbanisation théorique actuel est de 47,21 % et passera à 67,11 % en 2030. La quantité de terre consommée par unité de population est de 4,94 %. Le taux annuel de déforestation est de 0,09 % alors que le taux de reconstitution naturelle est de 0,01 %. Ce qui veut dire qu'aucun effort de plantation n'est fait dans le milieu. L'indice d'Allan (1,29) et le coefficient de Ruthenberg (89) montrent que la terre est surexploitée et sa fertilité baisse continuellement. Environ 67,76 % des terres agricoles sont très vulnérables, 0,63 % sont moyennement vulnérables et 31,34 % sont faiblement vulnérables. Les conséquences sont le manque des terres agricoles, la baisse des rendements agricoles et l'augmentation des prix des parcelles. Pour remédier à ces problèmes, les paysans, font l'association et la rotation des cultures, utilisent des engrais qui coutent de plus en plus chers. Pour donner une chance à l'agriculture urbaine, il est indispensable d'élaborer et de mettre en œuvre des outils de planification urbaine et foncière dans l'arrondissement de Vakon.

Mots clés : Vakon, pression foncière, vulnérabilité, agglomération, production agricole.

Urban pressure and vulnerability of agricultural land in the district of Vakon (town of Akpro-Misserete)

Abstract:

Agricultural production in the district of Vakon is faced with the reduction of land and soil fertility. This research analyzes the vulnerability of agricultural land to urban pressure in the said district. The methodological approach used is based on data collection and processing. The socio-economic surveys took into account 142 heads of households and 12 resource persons in six villages of the district. The Ruthenberg coefficient makes it possible to evaluate the cultivation system practiced and Allan to evaluate the stability of the soil. The results obtained showed that population growth (41%), urban sprawl (36%) and subdivision operations (23%) are determinants of urban pressure in the borough. The current theoretical urbanization rate is 47,21% and will increase to 67,11% in 2030. The amount of land consumed per unit of population is 4,94%. The annual deforestation rate is 0,09% while the natural recovery rate is 0,01%. This means that no planting effort is made in the environment. The Allan index (1,29) and the Ruthenberg coefficient (89) show that the land is overexploited and its fertility is continuously declining. About 67,76% of agricultural land is highly vulnerable, 0,63% is moderately vulnerable and 31,34% is low vulnerable. The consequences are the lack of agricultural land, the drop in agricultural yields and the increase in the price of plots. To remedy these problems, the peasants, make the association and the rotation of the cultures, use fertilizers which are more and more expensive. To give urban agriculture a chance, it is essential to develop and implement urban and land planning tools in the Vakon district.

Key Words*:* Vakon, land pressure, vulnerability, agglomeration, agricultural production.

[1] Corresponding author: sandezannou@yahoo.fr

INTRODUCTION

A l'heure actuelle, l'agriculture demeure un instrument fondamental de développement et de réduction de la pauvreté dans les pays en développement. Elle constitue l'un des secteurs les plus importants de l'économie des pays à spécialisation primaire et contribue, de manière significative, au produit intérieur brut (PIB) dans de nombreux pays africains (F. Nsonsi, 2017, p.105).

Au Bénin, comme dans la plupart des pays en voie de développement, l'agriculture occupe une place importante dans l'économie nationale. Le pays dispose d'environ 6 600 000 hectares de terres cultivables (MAEP, 2005, p. 131). Ainsi, la production agricole dépend d'une part de la surface de sol disponible et d'autre part de sa fertilité. Celle-ci est conditionnée par plusieurs paramètres à savoir des déterminants climatiques et pédologiques d'une part, et les techniques de cultures, d'autres part (A. Towou, 2007, p. 193). Ainsi, l'agriculture urbaine et périurbaine constituent un sous-secteur de l'agriculture et a connu une évolution à la suite de l'explosion démographique urbaine (K. F. Assogba et *al.*, 2007, p. 4). Mais dans les espaces périurbains, les enjeux liés à la terre sont très nombreux. On assiste à la conversion de terres agricoles, forestières ou naturelles vers des usages urbains ; formation de plus-values d'urbanisation ; préservation de la ressource foncière pour ses fonctions non marchandes ou pour les générations futures (J. Cavailhès et *al.*, 2011, p.100).

La croissance de la population, l'extension urbaine, l'amenuisement de la fertilité des sols, la dégradation de l'environnement, les changements climatiques et les nouvelles possibilités offertes en matière de commercialisation des produits agricoles sont d'autant de déterminants qui accroissent la demande et aggravent la pression foncière (FIDA, 2008, p. 2). Or, produire suffisamment et qualitativement pour nourrir les populations est l'idéal auquel aspirent tous les pays du monde. La population béninoise croît rapidement et le taux d'extension urbaine est passé de 35, 70 % en 1992 à 38, 90 % en 2002 pour les agglomérations de plus de 10000 habitants (INSAE, 2002, p.17) et de 47, 49 % en 2013 (INSAE, 2013, p.12). La question de la sécurité foncière reste une préoccupation majeure compte tenu du taux d'accroissement urbain élevé. La population urbaine qui était de 39 % en 2002 est passée de 47, 49 % en 2013 et atteindra 69,10 % en 2042 (INSAE, 2013, p.14). Cette augmentation de la population engendre une pression sur le foncier agricole en transformant les terres agricoles en terres bâties. Or, le secteur agricole au Bénin contribue à 34 % du PIB et occupe 65 % de la population active (CeCPA, 2011, p. 12). A cet effet, les problèmes d'espaces se posent car la superficie ne change pas (M. Glinzler et *al.,* 2010, p.7). La question de l'extension urbaine et de la sécurité alimentaire reste une préoccupation cruciale du monde rural qui doit assurer son autosuffisance alimentaire et au même moment satisfaire le milieu urbain dans le cadre des relations ville-campagne. Les espaces agricoles de la commune de Akpro-Missérété tout comme les communes du sud du Bénin subissent de fortes pressions. Les espaces des quartiers tels que Laké, Mami, Vakon-Mami, Vakon-Gbo, Dakpa, etc. qui jadis étaient suffisamment agricoles sont aujourd'hui urbanisés avec la diminution presque totale des espaces agricoles. Ces terres sont considérablement réduites au profit des agglomérations liées aux extensions urbaines de la commune de Porto-Novo et le phénomène de conurbation entre la commune de Porto-Novo et la commune de Akpro-Missérété à partir de l'arrondissement de Vakon. Vu l'ampleur de ces phénomènes dans le milieu où la production agricole s'effectue encore, il est important d'analyser la pression foncière et la vulnérabilité agricole afin de concilier l'extension urbaine et la production agricole. Ce sont là autant de préoccupation qui fondent cette recherche dans l'arrondissement de Vakon.

Situation géographique de l'Arrondissement de Vakon

Situé dans la Commune de Akpro-Missérété, l'Arrondissement de Vakon est localisé entre 6°30'00" et 6°32'20"de latitude nord et entre 2°33'00" et 2°36'37" de longitude est. Il est limité au nord par l'Arrondissement de Akpro-Missérété, au sud-ouest par la Commune des Aguégués et au sud-est par la Commune de Porto-Novo (Institut Géographique National, 1992, p.1). L'arrondissement de Vakon compte six quartiers/villages que sont Danto, Gouako Kotoclome, Sohomey, Vakon Adanhou, Vakon Azohoue et Vakon Gbo. La figure 1 présente la situation géographique de l'arrondissement de Vakon.

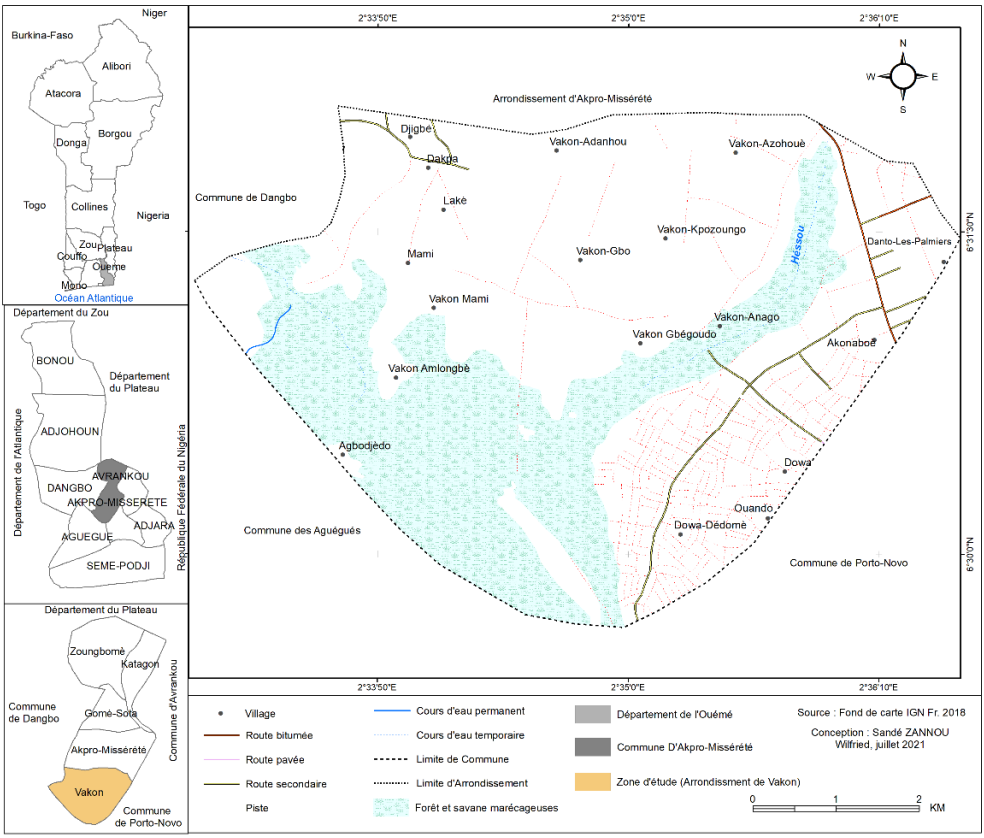


Figure 1 : Situation géographique de l'arrondissement de Vakon

MATERIELS ET METHODES

Cette rubrique est constituée des techniques de collecte des données, l'échantillonnage des personnes interrogées et les techniques de traitement des données.

Acquisition des données cartographiques et satellitales

Plusieurs images ont été utilisées pour la production des résultats de cette recherche. Ce sont les images de Landsat MSS 2000 prise au Centre National de la Télédétection et de Suivi Ecologique et de Landsat OLI-TIRS 2020 téléchargée sur internet. Les données vecteurs (shp) telles que le réseau routier, hydrographique et les limites des arrondissements ont été extraites de la base de l'IGN France de 2018.

Echantillonnage et enquêtes de terrain

L'enquête a été menée dans six (06) villages de l'arrondissement compte tenu de l'importance des activités agricoles et de la pression foncière. A cet effet, les investigations ont été menées auprès des agriculteurs, des propriétaires terriens et il faut être résident du milieu depuis ces vingt (20) dernières années. Les agents de l'Agence Territoriale Développement Agricole (ATDA) ont été pris en compte ainsi que les chefs de chaque village. La formule de J. B. Beaud et B. Marien (2003) a été utilisée avec un seuil de confiance de 95 %. Elle est donnée par l'expression/ $n = N \times 400 / N + 400$ Avec :

n le nombre de ménages agricoles interrogés, ***N*** le nombre total des ménages agricoles et 400 désigne le facteur de correction. ***N***= 220 (INSAE, 2013, p.1). En appliquant ladite formule, on obtient :

n= 220 x 400 / 220 + 400 ;

n= 88000 / 620 ; n= 141, 93 ; n = 142 ménages agricoles.

Le tableau I présente l'échantillonnage de ménages agricoles interrogés par village.

Tableau I : Répartition de l'échantillon par village

Villages	Ménages agricoles présents	Ménages agricoles interviewés
Danto	14	11
Gouako-Kotoclomè	38	31
Sohomey	01	0
Vakon-Adanhou	62	30
Vakon-Azohouè	54	38
Vakon-Gbo	51	32
06	220	142

Source : INSAE, 2013 et enquêtes de terrain, septembre 2021

Le tableau montre que sur un total de 220 ménages agricole, 142 ont été interrogés, soit un taux de 64,55 %. En plus de ces ménages interrogés, 12 personnes ressources ont été interviewées, à raison de : 6 chefs de villages, le chef d'arrondissement, 1 chef service des affaires domaniales et 4 agents de l'Agence Territoriale Développement Agricole (ATDA) ont été interviewés. Les enquêtes par des entretiens individuels à l'aide d'un questionnaire et de guides d'entretien ont été faites auprès de la couche de la population précédemment définie. Elles ont été faites dans les bureaux pour les agents de ATDA et le Chef d'Arrondissement ; dans les maisons et les champs pour les agriculteurs et les chefs de village. Ces enquêtes ont permis de recueillir les informations sur les facteurs de pression foncière agricoles, les conséquences et les stratégies d'adaptation.

Techniques de traitement des données et analyse des résultats

Deux techniques de traitement des données ont été adoptées : le traitement cartographique et le traitement statistique.

Traitement cartographique

Cartographie de la vulnérabilité des écosystèmes

Les cartes d'occupation de deux années ont été réalisées à partir des images Landsat MSS de 2000 et de Landsat OLI TIRS de 2020 pour analyser la dynamique de l'occupation du sol. Les tables d'attribut pour chaque année a permis de calculer les superficies de chaque occupation après agrégation des classes. Ces différentes opérations ont été faites sur le logiciel Arc Gis 10.5. Les superficies calculées ont permis de produire la matrice de transition et les analyses de la vulnérabilité des écosystèmes. La vulnérabilité au changement de chaque classe d'occupation du sol est calculée à l'aide respectivement du ratio Gain/stabilité (Gs = g/s), le ratio Perte/Stabilité (Ps = p/s) et le ratio Changement net /stabilité (Ns = Gs-Ps). Les termes g, s et p représentent respectivement les gains, les zones de stabilité et les pertes de superficie de chaque occupation du sol. La déforestation et la dégradation des écosystèmes ont été étudiées à partir d'un regroupement des transitions des types d'occupation du sol. Le taux moyen annuel de dégradation des unités paysagiques a été calculé grâce à la formule utilisée par l'Observation Spatiale des Forêts d'Afrique Centrale et de l'Ouest (OSFACO, 2019). Elle se traduite par l'expression suivante : $\mathbf{TAD} = (\frac{\mathbf{S2}}{\mathbf{S1}})/\mathbf{t} \times \mathbf{100}$ Avec : TAD = taux annuel moyen de dégradation (%) ; S2 = Superficie totale de forêt perdue ; S1 = Superficie initiale de forêt et t = nombre d'années entre les deux dates.

Analyse de l'état de dégradation des terres

Pour mieux apprécier la pression qu'exercent les exploitants agricoles sur les terres et la fertilité de ces dernières, le coefficient d'Allan (1995) a été calculé. Ce coefficient (L) permet de caractériser le niveau de perturbation (niveau de dégradation) des sols. Il est obtenu à partir de la formule suivante : $\mathbf{L} = (\mathbf{C}+\mathbf{J}) / \mathbf{C}$ Avec C : Nombre d'années de mise en culture et J : Nombre d'année de mise en jachère ou de repos. Ainsi lorsque L ≥ 5, alors la terre est bien exploitée et ne subit aucune pression et lorsque L < 5 alors, la terre est surexploitée et donc en dégradation. Le calcul du taux d'urbanisation théorique d'après O. Tomas et D. Mama (2010), est de : $\boldsymbol{TUT} = \frac{\boldsymbol{PAU}}{\boldsymbol{PTC}} \boldsymbol{x\ 100}$ Avec **TUT** = Taux d'urbanisation théorique ; **PAU** = Population des arrondissements urbains ; **PTC** = Population totale de la commune ou du milieu d'étude. PAU =38806 et PTC =127249.

Le taux de consommation des terres et le coefficient d'absorption des terres ont été calculés suivant la formule ci-après afin de montrer respectivement le niveau d'expansion spatial de la du milieu de recherche et la quantité de terre consommée par unité de population.

$$TCT = \frac{S}{P} x\ 100$$

TCT : Taux de Consommation des Terres ; S : la superficie et P : l'effectif de la population. Le S = **1915 ha et le P** = 38806.

Pour évaluer cette vulnérabilité des écosystèmes et des zones agricoles faces aux actions anthropiques, la méthode utilisée est basée sur l'utilisation des données vecteurs représentant les villages, les réseaux routiers, les zones de culture, l'image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de 2014, les occupations du sol et la hauteur de pluie du milieu pendant la saison de pluie, la carte d'occupation du secteur de recherche de 2020. Pour cela, une pondération de vulnérabilité des terres a été faite et s'est inspirée de la méthode de ILWAC, DGPC et OSS (2013, p.11) (tableau II). Ce qui a permis de faire la carte de la vulnérabilité des terres du milieu.

Tableau II : Pondération de la vulnérabilité des écosystèmes et des zones agricoles faces aux actions anthropiques et du climat

Ecosystème et terres exposés	Sensibilité (1-3)	Capacité d'adaptation (3-1)	Vulnérabilité (1-6)	Classe de vulnérabilité	Rang
Forêt claire savane boisée	1	1	2	Moyenne	2
Savane arbustives et arboré	3	1	4	Forte	3
Forêt et savane marécageuse	2	1	3	Moyenne	2
Agglomération	3	2	5	Fort	3
Cultures et jachères	1	1	2	Faible	1
Cultures et jachères sous Palmier à huile	1	1	2	Faible	1

ILWAC, DGPC et OSS (2013), traitement d'image 2020 et enquêtes de terrain, septembre 2021

Traitement statistique

Elle consiste à faire d'abord le dépouillement et la codification des données issues des fiches d'enquêtes pour mettre en place une base de données sur le tableur Excel 2013. Elles ont été regroupées par catégorie et par nature pour déterminer de façon automatique les proportions et les fréquences de chaque facteur afin de réaliser des graphes pour rendre compte des facteurs les plus déterminants de la dégradation et de la vulnérabilité des terres. Ces résultats ont été traduits en tableaux et en graphiques. La formule de l'INStaD a été utilisée pour estimer la population de l'arrondissement en 2030. Elle se traduite par l'expression :

$P_{2030} = P_{2013} (1 + r)^t$ Avec P la population ; r le taux d'accroissement naturel (0,047) et t le temps (17).

Le modèle de gestion durable et participative et de maintien des terres restantes proposé doit se baser sur les différentes dispositions juridiques en matière de gestion des ressources naturelles et des terres du fait de l'exigence des réformes juridiques et du plan d'aménagement du territoire.

RESULTATS

Facteurs des pressions foncière et urbaine dans l'arrondissement de Vakon

Les écosystèmes forestiers et les terres agricoles de l'arrondissement de Vakon subissent de forte pression dont les facteurs sont par ordre d'importance : les opérations de lotissement et les différents aménagements (23 %), les facteurs démographiques (41 %) et l'extension urbaine (36 %).

Aménagements opérationnels

Les premières opérations de lotissements et de recasement ont démarré en 1994 dans le village Danto et ont couvert 8 villages de l'arrondissement et qui sont à la phase de recasement. Environ 23 % des ménages interviewés ont estimé que les opérations de lotissement ont rendu vulnérables les activités agricoles à travers la réduction des superficies autrefois cultivées et l'installation progressive des acquéreurs de parcelles recasées. Ce phénomène est amplifié par la viabilisation des espaces lotis avec la mise en place des infrastructures sociocommunautaires. Il faut noter, 6 écoles maternelles publiques et 16 privées ; 9 écoles primaires et 3 collèges d'enseignement secondaire général publics ; plusieurs complexe d'enseignement général et technique ; 2 centres de santé et 3 cabinets privés. Les sources d'approvisionnement en eau sont la SONEB et d'autres ouvrages hydrauliques. D'autres infrastructures telles que les hôtels, les centres de loisirs et autres sont construites. L'arrondissement est électrifié par les installations de la Société Béninoise d'Energie Electrique (SBEE) et d'autres systèmes d'électrification tels que le solaire, les groupes électrogènes, etc. faisant de l'arrondissement de Vakon un véritable foyer d'appel des populations environnantes et d'ailleurs.

Une démographie galopante

La croissance de la population exprime la résultante des mouvements (natalité, mortalité et migrations) de cette population. La population a évolué depuis 1979 à aujourd'hui avec un taux d'accroissement naturel global qui est passé de 3,23 % entre 1992 et 2002 à 4,68 % entre 2002 et 2013. La figure 2 présente l'évolution de la population de Vakon et de son estimation en 2030.

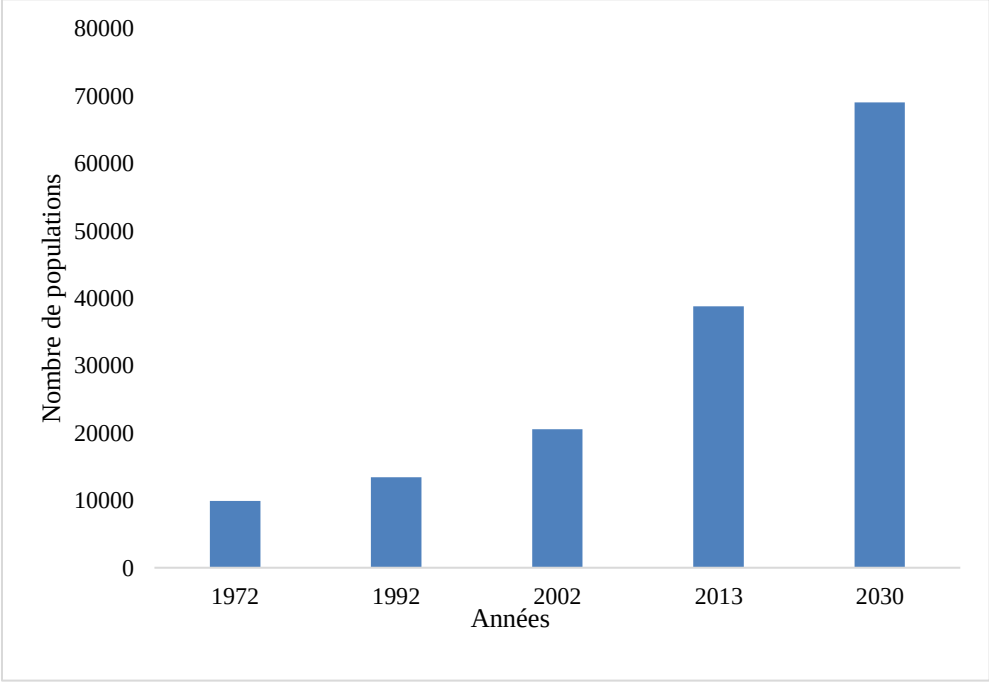


Figure 2 : Evolution de la population de l'arrondissement de Vakon
Source : INStaD, 1979-2013 et projection de 2030

La population de Vakon compte 9 925 habitants en 1979 et 13 422 habitants en 1992 et de 2002 à 2013, elle est passée de 20 541 habitants à 38 806 habitants (INSAE, 2013, p. 23). Cette population va atteindre approximativement 69070 habitants en 2030. Cette croissance démographique est surtout liée à la forte installation des populations autochtones acquéreurs qui ont construit des maisons locatives ainsi que la migration des populations venant des autres communes environnantes principalement la ville de Porto-Novo.

Croissance urbaine, une menace pour les terres agricoles

Le taux d'extension urbaine constaté dans l'arrondissement de Vokon est dû au trop-plein de la ville de Porto-Novo où les ménages en quête de terrains moins coûteux et voulant s'installer près de la ville s'installent dans l'arrondissement de Vakon contigu au territoire de la ville. Il est à noter que les limites théoriques la commune de Akpro-Missérété (par l'arrondissement de Vakon) et la ville Porto-Novo « s'effacent » progressivement avec l'installation de la prison civile à Gouako-Kotoclomè et le projet de construction d'une école de douane en plus les infrastructures de transport construites dans le cadre de l'asphaltage ont motivé les ménages à s'installer dans l'arrondissement surtout avec le relâchement des contraintes de mobilité induit par la densification de la voirie. Les terres agricoles ont ainsi changé de statut passant de terres agricoles à des terrains constructibles sous une forte demande. La figure 3 présente la croissance urbaine de l'arrondissement de Vakon entre 2000 et 2030.

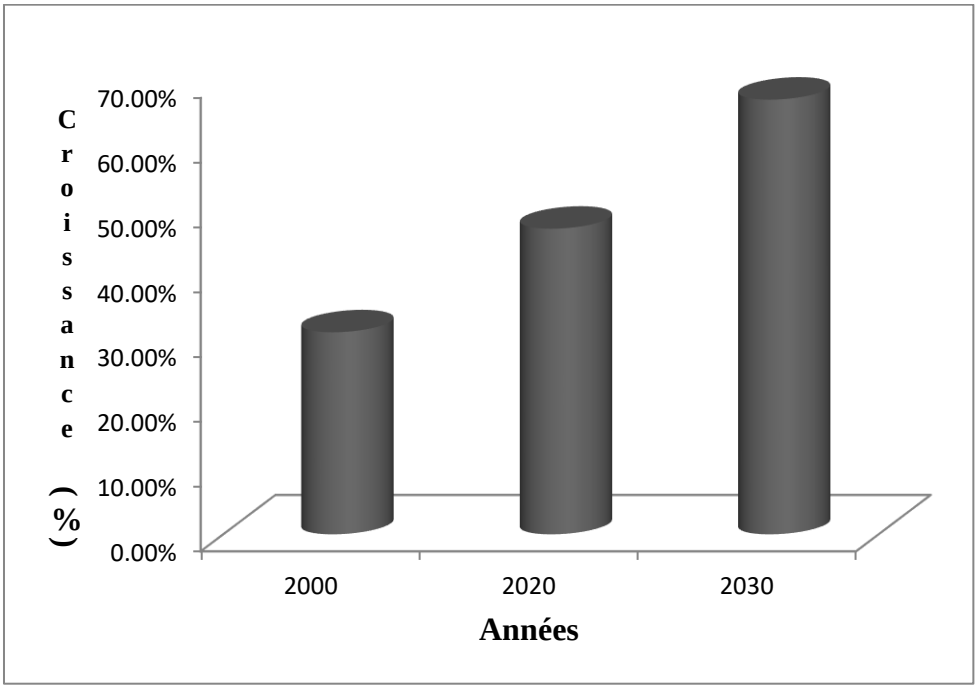


Figure 3 : Taux d'extension urbaine de l'arrondissement de Vakon entre 2000 et 2030
Source : Données de l'INStaD et résultats de calcul

A la lecture de la figure 3, il est constaté que le taux d'extension urbaine de l'arrondissement est passé de 31,23 % en 2000 à 47,21 % en 2020 et les prévisions pour 2030 sont estimées à 67,11 %, ce qui laisse entrevoir une forte pression dans moins de dix ans. La croissance de la population urbaine du milieu de recherche est très fortement envisagée ce qui nécessitera encore plus d'infrastructures rendant toujours vulnérable la production agricole.

Dynamique d'occupation des terres et vulnérabilité des espaces agricoles

Dynamique d'occupation du sol

Les différents facteurs de la pression foncière ci-dessus cités ont participé à la réduction des terres agricoles et à l'extension des agglomérations. La figure 4 présente les unités d'occupation de l'arrondissement en 2000.

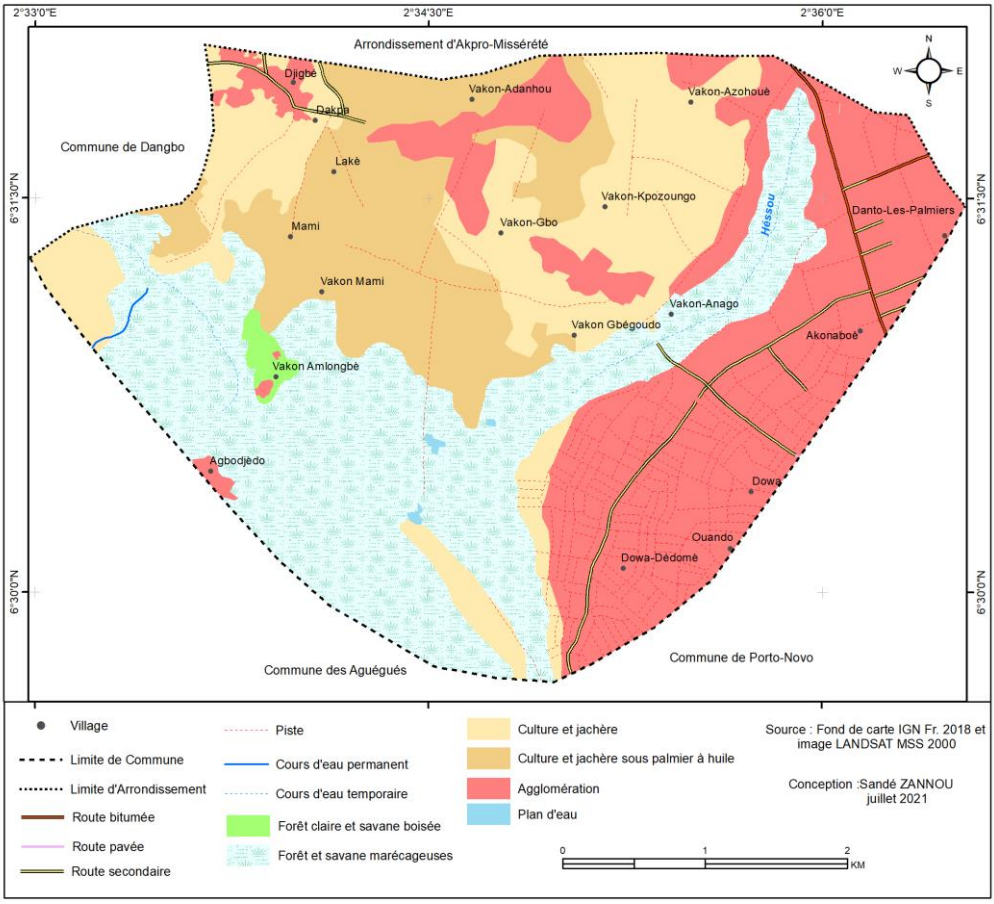


Figure 4 : Unités d'occupation du sol de l'arrondissement de Vakon en 2000

Les unités d'occupation du sol de l'arrondissement en 2000 sont les forêts claires et savanes boisées, les forêts et savanes marécageuses, les plans d'eau, les cultures et jachères, les cultures et jachères sous palmier à huile et les agglomérations. L'arrondissement de Vakon est dominé en 2000 par les zones marécageuses au sud-ouest et les zones de cultures et jachères avec des cultures et jachères sous palmier à huile au nord de l'arrondissement. Les agglomérations ne sont pas négligeables et se localisent au sud-est vers la commune de Porto-Novo. La figure 5 présente les unités d'occupation de l'arrondissement en 2020.

Les unités d'occupation les plus importantes en 2020 sont les agglomérations. Il faut retenir de ces deux figures que les agglomérations ont fortement progressé entre les deux périodes (2000 et 2020). Cette extension urbaine est le prolongement de l'urbanisation de la commune de Porto-Novo au sud-est et de l'arrondissement de Akpro-Missérété au nord. Cette urbanisation rétrécie les zones de cultures qui se trouvent au nord en 2000. Le tableau III présente la matrice de transition des unités d'occupation du sol de l'arrondissement de Vakon entre 2000 et 2020.

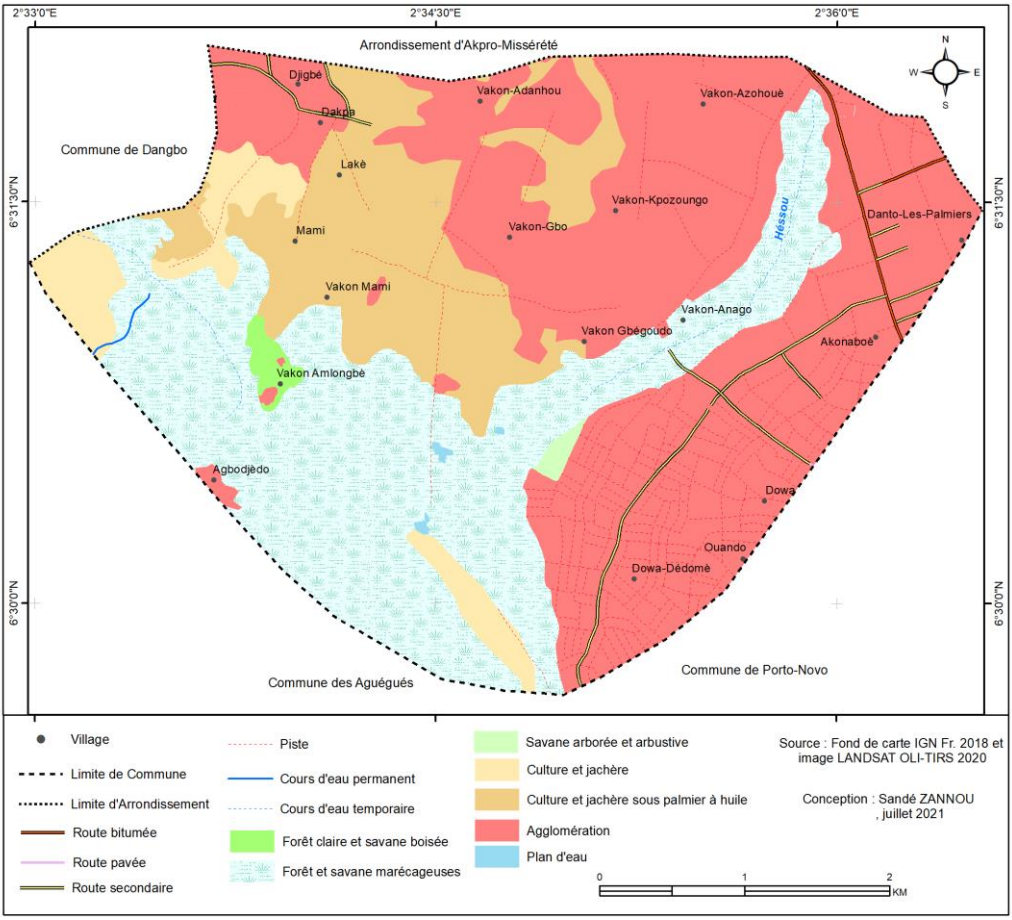


Figure 5 : Unités d'occupation du sol de l'arrondissement de Vakon en 2020

Tableau III : Matrice de transition des unités d'occupation du sol de Vakon

Occupation	FCSB	FSM	SASa	CJ	CJP	PE	HA	)TAL 2000	Perte
FCSB	12,15	0	0	0	0	0	0	**12**	0
FSM	0	602,24	0	0	0	0	0	**602**	0
CJ	0	0	5,83	92,91	0	0	283,96	**383**	290
CJP	0	0	0	0	294,82	0	22,22	**317**	22
PE	0	0	0	0	0	2,87	0	**3**	0
HA	0	0	0	0	0	0	)7,5443	**598**	0
TOTAL 2020	**12**	**602**	**6**	**93**	**295**	**3**	**904**	**1915**	
Gain	0	602	6	0	0	0	306		

FCSB : Forêt claire et savane boisée, SASa : Savane arborée et arbustive, FSM Forêt et savane marécageuse, CJ : Culture et jachère, CJP : Culture et jachère sous palmier, PE : Plan d'eau, HA : Agglomération.
Source : Traitement des images Landsat, 2000, 2020 et enquêtes de terrain, septembre 2021

Les unités d'occupation de l'arrondissement ont connu des mouvements régressifs et progressifs mais d'autres sont restées stables dans le temps et dans l'espace. En effet, les forêts claires et savanes boisées n'ont pas connu de mouvements, elles sont restées stables (12,15 ha) dans le temps. Cette stabilité s'explique par le statut de cette forêt (forêt sacrée). Les forêts et savanes marécageuses (602,24 ha) et les plans d'eau (2,87 ha) de l'arrondissement sont aussi restés stables. La stabilité de cette formation marécageuse et des plans d'eau s'explique par la présence d'eau en permanence et son inaccessibilité pour l'agriculture et la construction des bâtis. Les champs et jachères ainsi que les champs et jachères sous palmier à huile ont régressé au profit de l'agglomération. En effet, 5,83 ha de champs et jachères se sont transformés en savanes arbustives et arborées, 92,91ha sont restés stables et 283,96 ha en agglomération ; soit une perte de 290 ha. Lorsque les champs et jachères sous palmier à huile transitent, ils le font au profit des agglomérations (22,22 ha) avec une stabilité de 294,82 ha ; soit une perte de 22 ha. Les agglomérations et les savanes ont gagné respectivement 306 ha et 6 ha. Le tableau IV présente la vulnérabilité des écosystèmes de l'arrondissement de Vakon entre 2000 et 2020.

Tableau IV : Vulnérabilité des écosystèmes du milieu

Types de vulnérabilité	Total (ha)	Taux annuel (ha)	Taux de hangement (%)	aux annuel (%)
ation brute	0	0,00	0,00	0,00
tution naturelle	6	0,58	0,01	0,01
tion	0	0,00	0,00	0,00
ıtion	0	0,00	0,00	0,00
ation nette	-6	-0,58	-0,95	-0,09
tion nette	0	0,00	0,00	0,00

Source : Traitement des images Landsat, 2000, 2020 et enquêtes de terrain, septembre 2021

L'analyse de la vulnérabilité des écosystèmes de l'arrondissement montre que le taux de changement durant la période au niveau de la déforestation nette est 0,95 % et le taux annuel de la déforestation nette est de 0,09 %. Le taux de reconstitution naturelle est de 0,01 %. Il n'y a pas une amélioration dans le milieu. Ce qui veut dire aucun effort de plantation n'est fait dans le milieu et les jachères aussi sont de durée très courte. Les efforts de conservation des écosystèmes sont souhaités pour protéger certains espaces du milieu.

Dégradation des terres agricoles

La durée moyenne d'utilisation de la terre et la durée de la jachère dans l'arrondissement ne varie pas d'un village à un autre. Le système de culture est le même. Le nombre d'années de mise en culture des terres est en moyenne de 7 ans et le nombre d'années de mise en jachère est généralement de 1 à 2 ans et l'indice d'Allan est de 1,29 qui est < 5. Donc, la terre est surexploitée dans le milieu et le niveau de fertilité basse. Le coefficient de Ruthenberg est 89 et supérieur à 66. Ce qui justifie que dans le milieu d'étude, le système d'exploitation est sévère et le système de culture le plus adopté par les producteurs est permanent. C'est ce qui fait constater la présence des espèces végétales envahissantes comme *Sida acuta, Imperatacylindrica et Chromolaenaodorata* dans les champs et les jeunes jachères. Le taux d'urbanisation théorique est de 30,50 % et très élevé.La quantité de terre consommée par unité de population est de 4,94 %. Ce qui a rendu vulnérable la terre agricole de l'arrondissement comme le présente la figure 6.

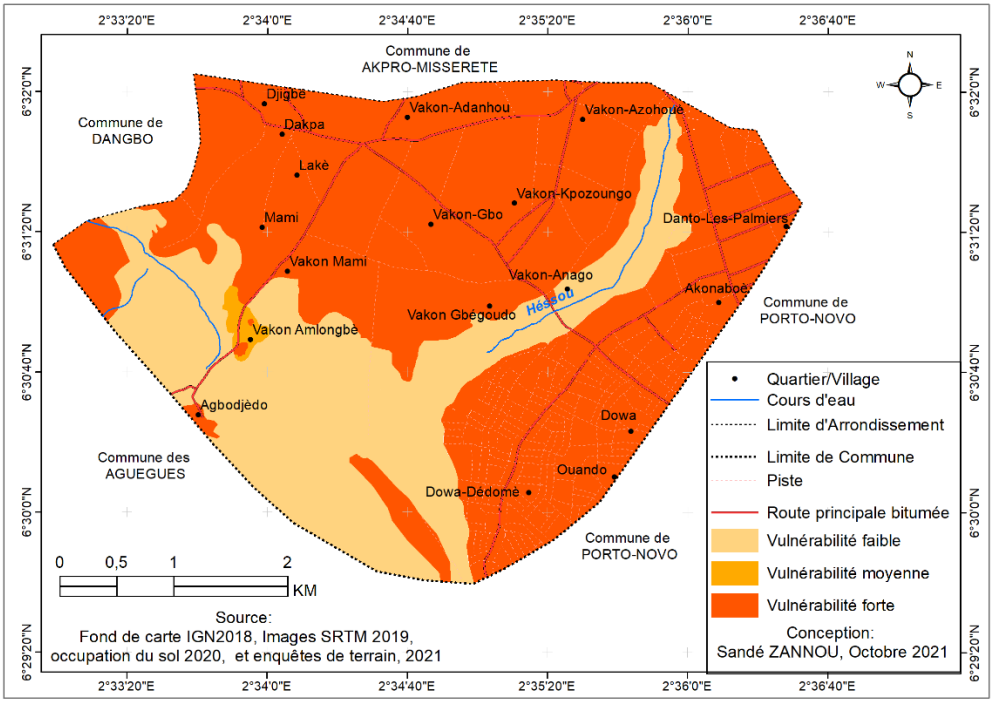


Figure 6 : Vulnérabilité des terres agricoles de l'arrondissement de Vakon

L'analyse de la vulnérabilité des terres agricoles présentée par la figure 6 montre que les terres agricoles sont vulnérables dans le milieu. En effet, sur une superficie totale de 1914,54 ha de l'arrondissement de Vakon, 1297,29 ha sont très vulnérables ; soit 67,76%. Les terres agricoles moyennement vulnérables font 12,15 ha soit 0,63 % et les terres faiblement vulnérables couvrent 605,11ha soit 31,34 %. Il faut retenir de cette analyse que les terres agricoles très vulnérables sont très importantes dans le milieu. Les terres moyennement vulnérables ne sont pas moins négligeables mais, faire de la production agricole nécessite des efforts complémentaires, vu le caractère humide de la zone. En plus de ce caractère humide, c'est une zone non aedificandiet protégée par la convention de Ramsar. De ces analyses, les autorités locales doivent être informées de cette situation et prendre des mesures pour une gestion efficiente de cet espace où l'agriculture serait impossible d'ici quelques années.

Rétrécissement des espaces agricoles et stratégies d'adaptation des populations

Du type familial, l'agriculture est, sur le plan spatial, la plus importante activité pratiquée par les populations de l'arrondissement de Vakon. Les terres agricoles couvrent une superficie de 6 085 ha, soit 52,45 % de l'ensemble du territoire de la Commune. Elles sont peu fertiles sous l'effet des pressions menées par les hommes sur elle, ce qui ne favorise pas le développement agricole entrainant ainsi la baisse des rendements. Les produits cultivés dans le secteur de recherche sont les céréales, les tubercules et les cultures maraichères. Les superficies emblavées varient de même que les rendements. Mais d'après les enquêtes de terrain, seuls le maïs et la patate douce sont les produits les plus cultivés. La figure 7 présente les différentes difficultés rencontrées par les paysans dans le milieu.

L'analyse de cette figure 7 montre que le manque des terres agricoles dans le milieu a été cité par tous les paysans interrogés. Pour eux, après le lotissement, le prix des parcelles a augmenté. En effet, de 1995 à aujourd'hui, le prix des parcelles de 500 m² est passé de 50 000 FCFA à 10 000 000 FCFA dans l'arrondissement et en fonction du village. Cette augmentation des prix des parcelles amène les propriétaires terriens à vendre les terres agricoles aux étrangers pour de l'argent immédiat. La surexploitation des terres entraîne la basse de sa fertilité. C'est ce qui a été notifié par plus de 60 % des personnes interrogées et engendre la basse des rendements agricoles. Certains paysans utilisent des engrais pour intensifier la production mais le coût de ces engrais leur revient très cher comme l'ont signalé 5 % des personnes interviewées. Plusieurs d'entre eux migrent vers Porto-Novo, Cotonou

et Abomey-Calavi et se convertissent en conducteurs de Taxi-Moto ou de Bus. Face à ces difficultés liées aux pressions foncières, la population adopte des stratégies d'adaptation (figure 8).

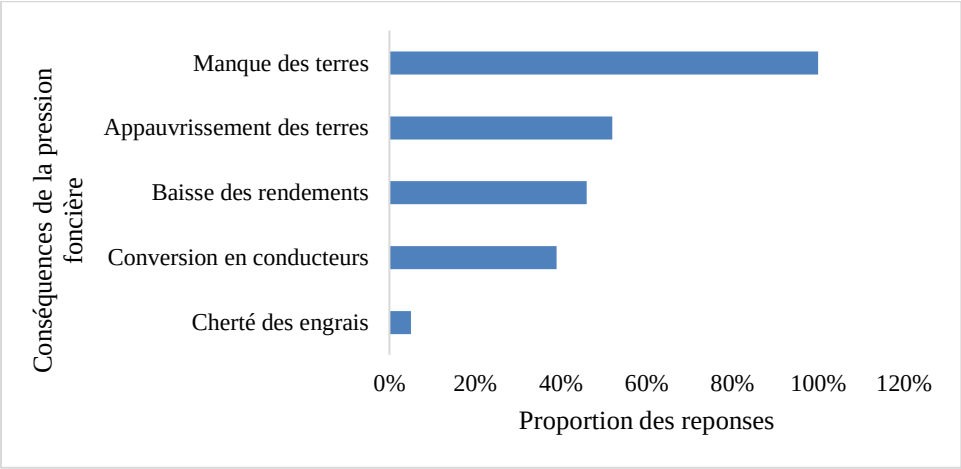


Figure 7 : Conséquence de la pression urbaine dans l'arrondissement de Vakon
Source : Enquêtes de terrain, septembre 2021

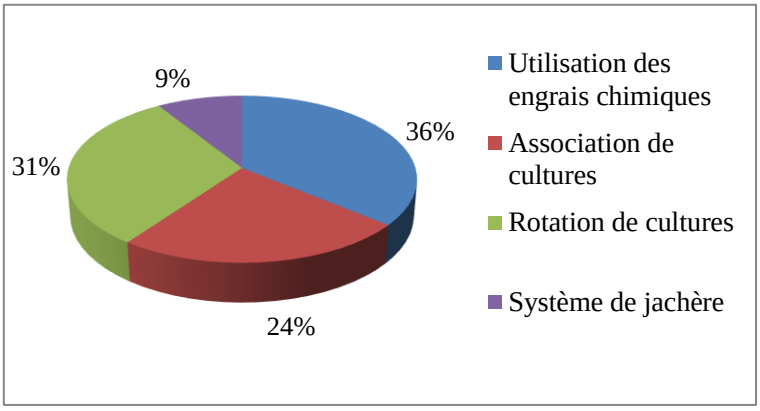


Figure 8 : Stratégies développées face à la pression foncière agricole.
Source : Résultats d'enquête de terrain, septembre 2021

Les engrais chimiques sont utilisés dans le secteur d'étude. 36 % des paysans l'utilisent afin d'améliorer leurs rendements puisqu'ils rétablissent la fertilité des terres appauvries. 64 % restants préfèrent les engrais naturels (terreaux) à la place des engrais chimique à cause de leur coût élevé. L'association de culture est une pratique qui se fait dans le secteur de recherche. Elle consiste en effet à cultiver dans un même champ, deux ou trois différentes cultures. La pratique d'association de culture contribue à la fertilisation des terres et permette aux producteurs de faire la récolte de deux différentes cultures sur le même champ à la fin d'une saison. Cependant, elle appauvrit le sol dans la mesure où l'on fait l'association de deux cultures de tubercules sur un même champ. Pour la première saison (grande saison de pluie), ils associent la patate douce (*Ipomoea batatas*) et le maïs (*Zea mays*) ; à la second saison (petite saison de pluie), ils associent soit du haricot *(Vigna unguiculata*) avec du maïs (*Zea mays*) ou de maïs (*Zea mays*) avec de l'arachide (*Arachis hypogaea*). Pour la rotation des cultures, à la 1ère année, ils font la rotation entre maïs *(Zea mays)* et haricot *(Vigna unguiculata) ; à la* 2ème année, c'est la rotation entre patate *(Ipomoea batatas)* et maïs *(Zea mays) ;* la 3ème année, manioc *(Manihot esculenta)* et arachide *(Arachis unguiculata)* et à la 4ème année, manioc (*Manihot esculenta*) et haricot *(Vigna unguiculata).* Ces différentes techniques d'adaptions et d'intensification des rendements agricoles dégradent encore plus les terres agricoles. Pour cela, des stratégies de développement agricole durable ont été proposées face à l'insuffisance des stratégies traditionnelles d'adaptation.

DISCUSSION

Cette recherche dans l'arrondissement de Vakon a montré les facteurs de pressions foncières et le degré de vulnérabilité des terres agricoles dans le milieu. Les résultats ont montré que les facteurs de pression foncière sont essentiellement anthropiques dans le milieu. Ce sont la croissance démographique (41 %), le lotissement (23 %) et l'extension urbaine (36 %) avec des degrés variables.

Ces facteurs sont amplifiés par la proximité et l'extension urbaine de la ville de Porto-Novo au sud-est et celle de l'arrondissement de Missérété au nord. Ces résultats ont été confirmés par les travaux de F. C. Assogba et *al.* (2007, p. 3), J. Cavailhès et *al.* (2011, p.99), qui expliquent que l'urbanisation et la périurbanisation sont à la base de pression foncière. S. Lawali et *al.,* (2014, p. 4), confirment et citent également la pression démographique parmi les facteurs de pression. Pour eux, ces pressions engendrent l'insécurité foncière et les conflits fonciers. Ces facteurs et surtout les opérations de lotissement ont morcelé et réduit drastiquement les terres agricoles au profit des agglomérations dans l'arrondissement.

Ceci a entrainé l'augmentation des prix des parcelles dans le temps et dans l'espace. C'est ce qui a été constaté par S. Lawali et *al.,* (2014, p.6) dans la commune rurale de Tchadoua au Niger que le prix de la terre est en hausse et évolue au rythme de l'accroissement de la demande en terres.

Selon les agriculteurs, la cherté est l'une des premières causes qui handicapent l'agriculture familiale. Ainsi, 44,37 % des personnes retenues pour l'enquête notent sans ambiguïté que la terre est trop chère. Plus de la moitié des exploitants très vulnérables (51,20 %) sont victimes de la cherté des terres. Cette cherté croissante des terres trouve sa justification dans la reconversion non seulement à l'épreuve de la démographie très galopante avec un taux d'accroissement de 3,36 %, mais aussi à la monétarisation (L. Lefebvre et C. Rouquette 2011, p. 155) l'ont également confirmé. Ce qui fait que les espaces sont occupés et surexploités. L'indice d'Allan calculé est de 1,29 et inférieur à 5 et le coefficient de Ruthenberg est de 89 et supérieur à 66, montre que la terre de l'arrondissement de Vakon est surexploitée et le niveau de fertilité baisse.

Ces résultats confirment les résultats de travaux de D. Chaffa (2013, p. 47) qui a trouvé 1,42 pour l'indice d'Allan et 70 pour le coefficient de Ruthenberg dans la commune de Tchaourou au Bénin. La pression démographique avec une densité moyenne d'environ 200 habitants au km² est sans doute un des facteurs qui menacent la viabilité des petites exploitations familiales sans lesquelles l'atteinte de la sécurité alimentaire serait un rêve. Les terres agricoles sont très vulnérables à ces facteurs : les terres sont pauvres, les rendements sont faibles, etc. dans l'arrondissement. Pour C. Dagbégnon (2017, p. 48), ces facteurs ne sont pas les seuls facteurs de pressions et de vulnérabilité des terres agricoles, il faut citer une forte exposition du secteur agricole à la variabilité climatique interannuelle qui est à l'origine d'une irrégularité de la pluviométrie, d'une hausse des températures, du démarrage tardif et de la fin précoce des pluies, des pauses pluviométriques plus fréquents mais également des facteurs non climatiques comme la salinisation des terres et la dégradation des sols. Cette recherche dans l'arrondissement n'a pas fait cas de ces facteurs à cause de leur faible observation.

D'autres auteurs comme S. Lawali et *al.,* (2014, p.6), ont cité également la transhumance qui est un autre facteur de la pression foncière. Or, la transhumance n'existe pas dans l'arrondissement de Vakon. La vulnérabilité des terres agricoles amène les paysans à adopter plusieurs stratégies d'adaptation comme l'utilisation des engrais chimiques comme biologiques, la rotation des cultures, et l'association des cultures avec un système de jachères très court (1 à 2 ans). Cela amène beaucoup de producteurs maraîchers à avoir des pratiques culturales qui ne garantissent pas la qualité sanitaire des produits récoltés (F. C. Assogba et *al.*, 2007, p. 3). A titre d'exemple, l'association des cultures permet de lutter contre les poches de sécheresse comme l'a signalé S. K. Hounkponou (2015, p.1). Pour corriger tout cela, G. Geniaux et C. Napoléone (2011, p.185) ont proposé de faire le zonage par des approches cartographiques. Ce zonage permettra d'attribuer à chaque zone ses fonctions (industrielles, agricoles, pêcheries, écologiques, etc.).

CONCLUSION

La présente recherche a porté sur la pression foncière et vulnérabilité agricole dans l'arrondissement de Vakon. Au terme de cette recherche, il faut retenir que l'extension urbaine, la croissance démographique et les opérations de lotissement sont les facteurs de pression foncière dans le milieu. Sous l'effet de cette pression, l'accès à la terre devient difficile pour les paysans entraînant ainsi la réduction des terres et ne favorise pas le développement de l'agriculture et par conséquent la vulnérabilité agricole. Cette dynamique réduit les espaces agricoles en déficit alimentaire chronique, et où la recherche d'une sécurité alimentaire doit être une préoccupation capitale du monde rural. Ainsi, force est de constater que les paysans utilisent chaque saison les mêmes terres agricoles avec les mêmes techniques et la durée de la jachère est réduite, ce qui conduit à l'appauvrissement de ces derniers. Ensuite, cette pression foncière a d'énormes impacts sur les rendements agricoles et sur les agriculteurs. Face à cela, les paysans ont adopté plusieurs stratégies pour rendre fertiles leurs terres. Ces systèmes de production et de culture utilisés par les paysans constituent une adaptation à la vulnérabilité agricole mais cela ne règle pas définitivement la situation. Il faut des analyses approfondies afin de faire du zonage de l'arrondissement et proposer une planification de l'espace de la commune en général et de l'arrondissement en particulier.

Références

[1] ASSOGBA Comlan Francoise, ANIHOUVI Prudent, ACHIGAN Enoch, SIKIROU Rachidatou, BOKO Adrien, ADJE Charlotte, AHLE Victoire, VODOUHE Raymond et ASSA Ayémou, 2007, « Pratiques culturales et teneur en éléments anti nutritionnels (nitrates et pesticides) du Solanum macrocarpum au sud du Bénin », *in African Journal of Foud Agriculture Nutrition and Development (AJFAND) Online*, ISSN 1684-5374, vol 7, n° 4, pp. 1-21.

[2] DAGBEGNON Calixte, 2017, *Pression foncière et vulnérabilité agricole dans l'Arrondissement de Gobada (Commune de Savalou),* Mémoire de Maîtrise de géographie, DGAT/FLASH/UAC, 64 p.

[3] CAVAILHES Jean, HILAL Mohamed, WAVRESKY Pierre, 2011, « L'influence urbaine sur le prix des terres agricoles et ses conséquences pour l'agriculture », *in Economie et statistique*, Le foncier et l'agriculture : développements récents. https://doi.org/10.3406/estat.2011.9645, pp. 99-125.

[4] CHAFFA Agué Daniel, 2013, *Analyse prospective de la dynamique de l'occupation du sol dans la commune de Tchaourou,* Mémoire de maîtrise de Géographie et Aménagement du Territoire, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 97 p.

[5] CeCPA, 2011, *Evaluation de la production agricole au Bénin*, Rapport d'étude, 57 p.

[6] FIDA, 2008, *Politique du FIDA relative à l'amélioration de l'accès à la terre et à la sécurité foncière*, quatre-vingt quatorzième session, 10-11 septembre 2008, Rome, 34 p.

[7] GENIAUX Ghislain et NAPOLEONE Claude, 2011, « Évaluation des effets des zonages environnementaux sur la croissance urbaine et l'activité agricole », *In : Economie et statistique*, n°445, pp. 181-199.

[8] HOUNKPONOU Saïd, 2015, *Vulnérabilité de l'agriculture béninoise aux changements climatiques et options d'adaptation*, Initiatives pour un Développement Intégré Durable (IDID-ONG), Synthèse du rapport de travaux de recherche, www.crdi.ca/cce, 4 p.

[9] ILWAC, DGPC et OSS, 2013, *Gestion intégrée de la terre et de l'eau pour l'adaptation à la variabilité et au changement climatique au Mali* ; Guide Méthodologique Cartographie de la vulnérabilité face aux risques climatiques au Mali, 38 p.

[10] Institut Géographique National, 1992, *Carte topographique du Bénin*, 1/200000, 1 p.

[11] INSAE, 2013, *Cahier des villages et quartiers des villes du département de l'Ouémé*, quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation 2013 (RGPH4), Cotonou, 39 p.

[12] LAWALI Sitou, MORMONT Marc et YAMBA Boubacar, 2014, « Gouvernance et stratégies locales de sécurisation foncière : étude de cas de la commune rurale de Tchadoua au Niger », *in VertigO, la revue électronique en sciences de l'environnement,* ISSN : 1492-8442, vol 14, n° 1, pp. 1- 14.

[13] MAEP, 2005, *Programme d'appui au développement des filières agricoles,* Rapport de fin d'année, 143 p.

[14] NSONSI Félicien, 2017, « Analyse de la vulnérabilité socioéconomique des agriculteurs dans les départements du Pool, des plateaux et de la Sangha (République du Congo) », *in TraHs N°1, Poblaciones Vulnerables y Derechos Humanos* http://www.unilim.fr/trahs - ISSN : 2557-0633, pp : 104-115.

[15] Towou Alain, 2007, «Further assessment of scavengable feed resource base ». *In: Characteristics and parameters of family poultry production in Africa*, pp 193-200.

Parfait Cocou Blalogoe
Extraction du sable fluvial et inondations dans la commune de Ouinhi
Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,
Vol. (vii), No.1, Mars 2022, pp. 68-82
ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access
www.jiste.org
Scientific Press International Limited
Received: 27 February 2022 / Revised: 07 March 2022 / Accepted: March 2022 / Published: March 2022

Extraction du sable fluvial et inondations dans la commune de Ouinhi

Parfait Cocou Blalogoe[1]

[1]Laboratoire de Géoscience, de l'Environnement et Applications (LaGEA) /Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publiques (ENSTP) / Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénieries et Mathématiques (UNSTIM),

Résumé

L'extraction des ressources minières exploitées comme matériaux de construction, tel que le sable fluvial, fragilise davantage les écosystèmes, notamment dans les couloirs de la basse et moyenne vallée de l'Ouémé induisant une érosion des berges. Ce travail évalue les problèmes de société entraînés par les modes de gestion du sable fluvial et les répercussions de son exploitation sur les populations riveraines dans la commune de Ouinhi.

La démarche méthodologique a consisté en des travaux de terrain (observation directe et enquêtes socio-anthropologiques), au calcul des indices d'anomalies centrées réduites, etc. En outre, les indicateurs d'exposition et d'impacts élaborés à l'aide de la matrice de sensibilité de Léopold (1971) a permis de mettre en évidence les éléments principaux de la commune de Ouinhi.

Les données collectées auprès des différents acteurs intervenant dans le secteur et les prospections faites sur le terrain révèlent cependant l'existence d'importants gisements de sable charrié en amont du fleuve chaque année par les eaux de ruissellement de la région qui convergent vers le lit du fleuve de juillet à fin octobre dans la basse et moyenne vallée de l'Ouémé. Les différents sites d'emprunt de sable ouverts par les exploitants artisanaux et quelques promoteurs privés ainsi que les différentes missions organisées par le groupe des experts donnent des indications sur la puissance des gisements et la qualité de sable existant. Ainsi, l'exploitation du sable lacustre extrait du lac Ahémé revêt encore un caractère embryonnaire, artisanal et totalement inorganisé. Dans la commune de Ouinhi, l'exploitation du sable est plus qu'une activité de reconversion socio-professionnelle et est animée par des acteurs clés formés par les exploitants chefs de carrière, les plongeurs, les ramasseurs, les chargeurs et les consommateurs. Elle permet à ces acteurs d'accroître leurs revenus, d'améliorer leurs conditions sociales et économiques. Mais l'exploitation du sable dans la commune a des impacts directs comme la destruction des habitats écologiques de la faune aquatique, de la faune et la flore du fond du lac (plus de 70 %), la dégradation des voies (85 %). De plus, la santé des acteurs directs (plongeurs, ramasseurs, chargeurs (à plus de 90 %)), impliqués dans l'activité, est affectées par le système de l'exploitation du sable lacustre.

Il importe de réorganiser et de réglementer de l'activité d'exploitation du sable fluvial et de mettre en application les mesures proposées pour une gestion environnementale et sociale durable.

Mots clés : Fleuve Ouémé, sable fluvial, exploitation, impacts socio-environnementaux, stratégies, durabilité.

Extraction of fluvial sand and flooding in the commune of Ouinhi

Abstract:

The extraction of mining resources exploited as building materials, such as river sand, further weakens the ecosystems, particularly in the corridors of the lower and middle valley of the Ouémé, leading to erosion of the banks. This work evaluates the societal problems caused by the modes of river sand management and the repercussions of its exploitation on the local populations in the commune of Ouinhi.

The methodological approach consisted of field work (direct observation and socio-anthropological surveys), the calculation of indices of reduced centered anomalies, etc. In addition, the exposure and impact indicators developed using the sensitivity matrix of Léopold (1971) made it possible to highlight the main elements of the commune of Ouinhi.

The data collected from the various actors intervening in the sector and the surveys carried out in the field reveal, however, the existence of significant deposits of sand carried upstream from the river each year by the runoff waters of the region which converge towards the bed of the river from July to the end of October in the lower and middle Ouémé valley. The various sand borrow sites opened by artisanal miners and some private promoters as well as the various missions organized by the group of experts give indications on the power of the deposits and the quality of the existing sand. Thus, the exploitation of lake sand extracted from Lake Ahémé still takes on an embryonic, artisanal and totally unorganized character. In the commune of Ouinhi, sand mining is more than a socio-professional retraining activity and is led by key players trained by quarry operators, divers, collectors, loaders and consumers. It allows these actors to increase their income and improve their social and economic conditions. But the exploitation of sand in the municipality has direct impacts such as the destruction of the ecological habitats of aquatic fauna, fauna and flora of the bottom of the lake (more than 70%), the degradation of the tracks (85%). In addition, the health of the direct actors (divers, collectors, loaders (more than 90%)), involved in the activity, is affected by the lake sand mining system.

It is important to reorganize and regulate the river sand mining activity and to implement the measures proposed for sustainable environmental and social management

Key Words*:* Vakon, land pressure, vulnerability, agglomeration, agricultural production.

[1] Corresponding author: blalogoe@yahoo.fr

INTRODUCTION

La population est aujourd'hui concentrée dans le Sud où, sur à peine 10 % de la superficie du territoire, vivent près de 50 % des habitants du pays. Ce déséquilibre, source de problèmes fonciers, s'aggrave du fait de l'urbanisation accélérée des régions du Sud qui se traduit par un besoin sans cesse croissant en espaces à bâtir, des infrastructures et équipements à mettre en place. L'extension des agglomérations s'effectue au détriment des espaces naturels dont les fonctions, souvent perturbées, sont source de nuisances variées, aussi bien pour les populations humaines que pour leurs installations et activités : c'est le cas des inondations fréquentes observées depuis quelques années dans la Commune de Ouinhi. L'exploitation rationnelle de ces ressources devrait permettre de répondre à quelques besoins impérieux des acteurs qui s'adonnent à cette activité d'une part et aux collectivités et à l'Etat de percevoir des taxes, de satisfaire les demandes en matériaux de construction dans un contexte d'urbanisation accélérée du Sud-Bénin, de valoriser le secteur minier national d'autre part. Mais, le développement d'une telle activité ne peut passer sans incidences sur les écosystèmes, sur les populations locales et leurs activités. En effet, les cordons de dunes, exondés, constituent les sites privilégiés des établissements humains, tandis que les dépressions, inondables, sont affectées à d'autres usages comme la pêche, l'élevage et l'agriculture. Seule une vision prospective devrait pouvoir permettre de saisir les opportunités d'une telle activité dans un tel milieu et d'éviter le cas échéant les écueils. Ainsi, la présente étude vise à apporter une aide au maintien durable de l'écosystème et du géosystème de la commune de Ouinhi. La figure 1 présente la situation géographique de la commune de Ouinhi.

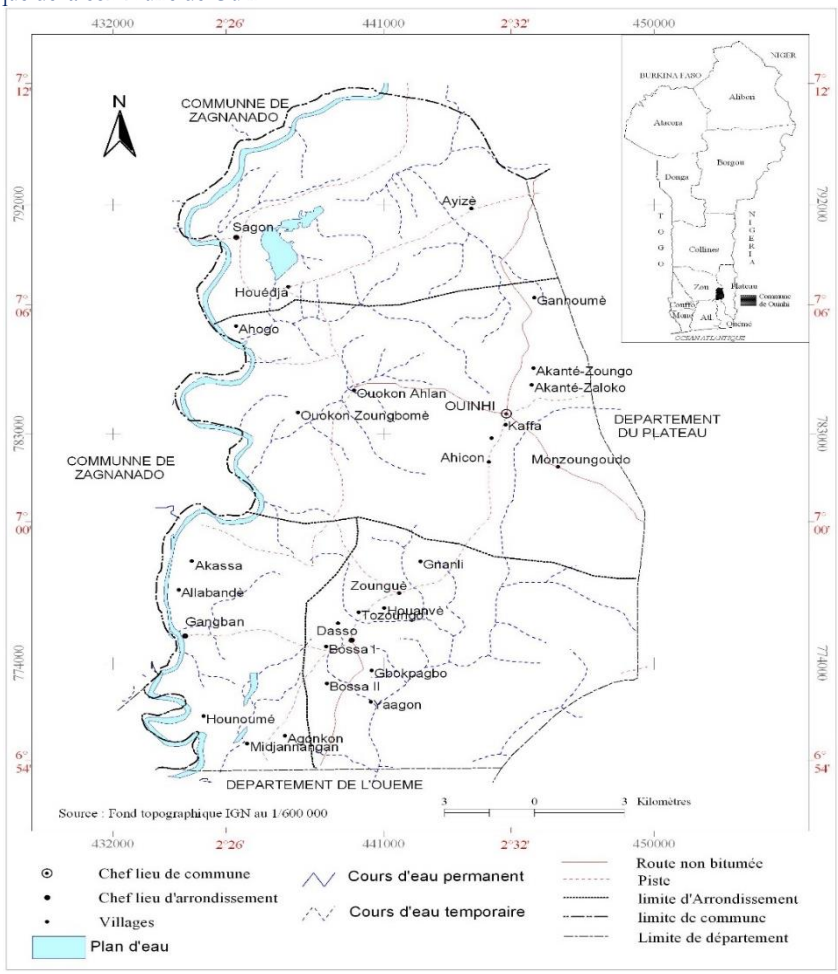


Figure 1 : Situation géographique de la commune de Ouinhi

L'analyse de la figure 1 indique que la commune de Ouinhi est comprise entre 06 °57' et 07°11 ' de latitude Nord et 02°23' et 02°33' de longitude Est. Elle couvre une superficie de 483 Km². Elle est limitée au nord-ouest par la commune de Zagnanado, au sud-ouest par la commune de Zogbodomey, au sud-est par la commune de Bonou et à l'est par la commune d'Adja-Ouèrè (département de l'Ouémé). Elle comprend quatre (04) arrondissements que sont Dasso, Sagon, Tohouè, Ouinhi et vingt-huit (28) villages.
L'observation des formes d'occupation des terres autour du lac montre une dégradation du couvert végétal. De ce fait la dénudation des sols pourrait conduire à une accélération de l'érosion, du transport des sédiments et certainement à la modification de la bathymétrie du fleuve. Le couvert végétal naturel de la Commune de Ouinhi est principalement caractérisé par de forêts dégradées, de forêts claires, de savanes boisées, de savanes arborées ou arbustives dont les essences sont utilisées à plusieurs fins. On note un autre type de végétation parsemée de plantations, de zones de cultures et de jachères et de quelques forêts sacrées où se pratiquent les rites « Oro ». La photo 1 présente le couvert végétal présent dans la commune de Ouinhi.

Photo 1 ***: Couvert végétal identifié dans la commune de Ouinhi -*** Prise de vue : Blalogoé, janvier 2021

Les abords du fleuve Ouémé où s'opèrent les activités d'exploitation artisanale du sable dans les localités de Houaidja, Akassa, Ahogo, Dolivi et Gangban, les espèces végétales identifiées sont dans la majorité des arbres plantés. Il s'agit notamment du Palmier à huile, le *Manguifera indica* (manguier) *Azadirachta indica* des *Khaya senegalensis* et des *Tectonia grandis*. Il est observé également quelques espèces naturelles conservées telles que *Adonsia digitata* et le *Troplochiton scleroxylon*.

APPROCHE METHODOLOGIQUE

La démarche méthodologique est axée autour de la technique de collecte des données et de la méthode d'analyse des résultats.
La technique de collecte des données a consisté à la recherche documentaire et aux enquêtes de terrain. Celles-ci ont été menées à l'aide de questionnaires, de guides d'entretien et de grille d'observation.
Les travaux de terrain ont consisté à l'organisation des échanges avec tous les acteurs et personnes ressources préalablement identifiés. Ainsi, des séances de travail sont tenues principalement avec des exploitants de sable (groupements ou coopératives), des agents des services techniques des Mairies, des Chefs Villages. Il a ensuite été procédé au recensement exhaustif des carrières d'exploitation de sable dans les Communes de Ouinhi d'une part, au recensement des différentes techniques d'exploitation de sable pratiquées par les exploitants et au recensement des outils actuels d'exploitation du sable d'autre part. Enfin, l'acquisition de données a été opérée :

- En vue de l'établissement d'une cartographie détaillée des sites de carrières et emprunts fluviaux avec leur localisation, leurs conditions d'accessibilité, ainsi que les données topographiques, géologiques et environnementales y relatives ;
- Grâce au Système d'Information Géographique (SIG) en vue de la mise en place d'un système de mise à jour de la carte de localisation des sites de d'exploitation ;
- En vue de la détermination de l'impact hydrologique de l'exploitation du sable sur les inondations dans la basse et moyenne vallée de l'Ouémé (comparer les dégâts induits par les prélèvements de sable sur l'érosion des berges, les capacités d'augmentation du volume du réservoir–tampon du fleuve, les gains socio-économiques et proposer des mesures correctives à adopter dans le but de lutter contre les inondations en aval).

Le traitement des données a consisté essentiellement, dans un premier temps, à la mise au point des différentes données collectées. Dans un second, les données collectées sur le terrain ont été croisées avec les informations

documentaires et les exigences légales définies par les textes pour retenir les outputs valables à introduire dans l'analyse des résultats.

Par ailleurs, le traitement cartographique des informations collectées (Image LandSat 8, fond de carte, coordonnées géographiques UTM, etc.) a été effectué grâce aux logiciel Excel et ENVI et ArcGIS. Plusieurs cartes thématiques illustrant le présent rapport ont été produites à partir de ce traitement cartographique.

L'approche matricielle (tableau I) a été la base à l'analyse des impacts environnementaux à travers l'identification des sources d'impacts et des composantes du milieu (lac Ahémé et son environnement) et l'analyse des impacts directs et potentiels de même que leur évaluation.

Tableau I **: *Matrice de sensibilité aux risques liés à l'exploitation du "lac" Ahémé***

	Risques liés à l'exploitation du lac Ahémé				**Indicateurs d'exposition (%)**
	Amenuisement des ressources halieutiques	***Comblement / envasement***	***Qualité de l'eau***	***Mutations sociales***	
Services rendus par le lac Ahémé					
Habitats écologiques					
Ressources halieutiques					
Ressources en eau					
Moyens d'existence					
Produits halieutiques					
Agriculture					
Commerce					
Pisciculture					
Modes d'existence					
Pêcheurs					
Agriculteur					
Commerçants					
Pisciculteur					
Indicateurs d'impacts (%)					

Source : *Fall, 2007 et adapté en fonction des données de travaux de terrain, janvier 2021*

Le barème d'évaluation de l'ampleur des risques d'exploitation du "lac" Ahémé se présente comme mentionné dans le tableau II.

Tableau II : Barème d'évaluation des risques climatiques

Ampleur du risque	**Seuil d'impacts ou d'exposition**
Faible	1
Assez faible	2
Moyen	3
Assez fort	4
Fort	5

Source : *Fall, 2007 et adapté en fonction des données de travaux de terrain, janvier 2021*

Le seuil est grand selon l'ampleur du risque lié à l'exploitation du lac. Ce barème qui fait office de seuil a permis de déterminer le degré d'impacts de l'exploitation du lac sur les systèmes naturels, socio-économiques et sur les modes d'existence. Les indicateurs sont calculés en termes de proportion (pourcentage) en fonction du nombre total de points réunis par les éléments constitutifs des rubriques : services rendus par le "lac" Ahémé, moyens d'existence et modes d'existence.

RESULTATS

Dynamique de la population du secteur et activités économiques

La figure 2 présente l'évolution de la population dans la commune de Ouinhi.

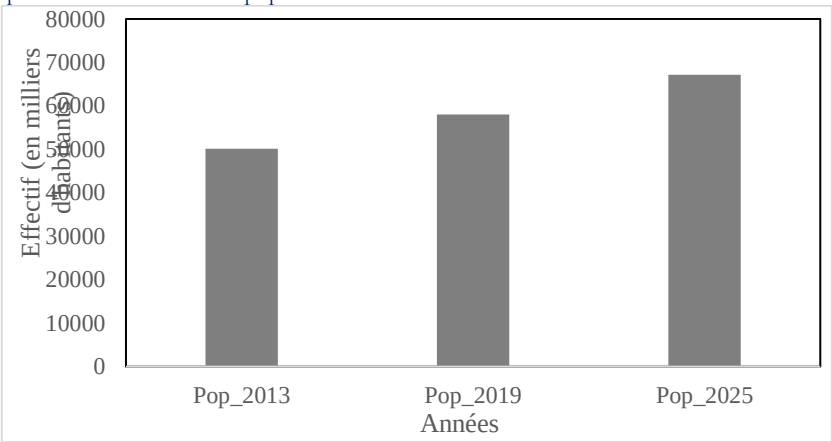


Figure 2 **: *Evolution de la population dans la commune de Ouinhi***

L'analyse de la figure 2 révèle que la population de ces différentes communes, est en augmentation exponentielle constituant un grand atout pour l'exploitation du sable. Cet effectif nécessite un volume de matériau notamment le sable pour la construction des habitations et des infrastructures sociocommunautaires mais, cette zone est désenclavée. En effet, dans la commune, le sable est exploité par un grand nombre des habitants surtout riverains. Par ailleurs, les activités socioéconomiques pratiquées par les populations de la commune de Ouinhi, sont la pêche, l'agriculture de consommation, l'élevage, la pêche, le commerce, la transformation agroalimentaire et l'exploitation du sable (figure 3).

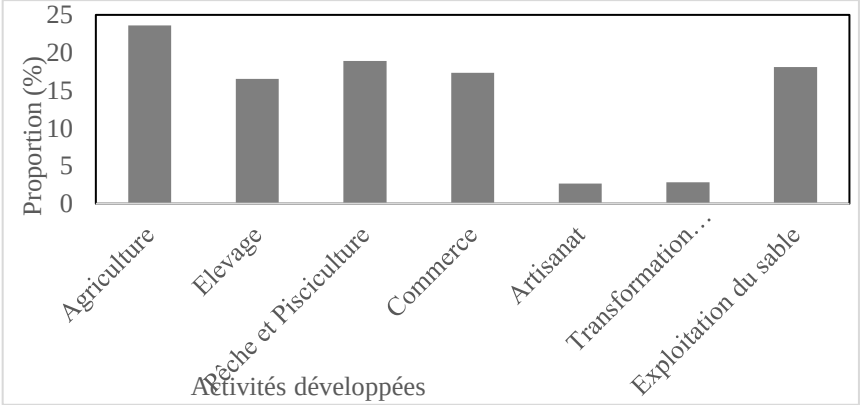


Figure 3 **: *Proportion d'activités socioéconomiques pratiquées dans la commune de Ouinhi***

L'analyse de la figure 3 indique que les populations installées dans la commune s'adonnent majoritairement à l'agriculture (24 %). La pêche et la pisciculture viennent ensuite et sont pratiquées à 19 %, l'exploitation du sable vient ensuite à 18 % et le commerce et l'élevage sont pratiqués à 17 % et l'élevage à 2 %. L'artisanat et la transformation agroalimentaire sont aussi pratiqués à 3 % dans la commune. Ainsi, la principale activité de la population demeure l'agriculture. D'autres activités dites secondaires telles que la pêche et l'exploitation du sable sont pratiquées par une frange de la population de ladite commune. La pêche et l'exploitation du sable apparaissent comme la deuxième activité qui prédomine dans la commune à cause de la proximité des habitations avec le fleuve Ouémé. Le commerce est surtout l'œuvre des femmes intervenant dans la transformation des produits halieutiques et leur commercialisation.

Acteurs de l'exploitation du sable lacustre dans la commune de Ouinhi

La figure 4 présente les différents acteurs de la filière d'exploitation de sable fluvial dans la commune de Ouinhi.

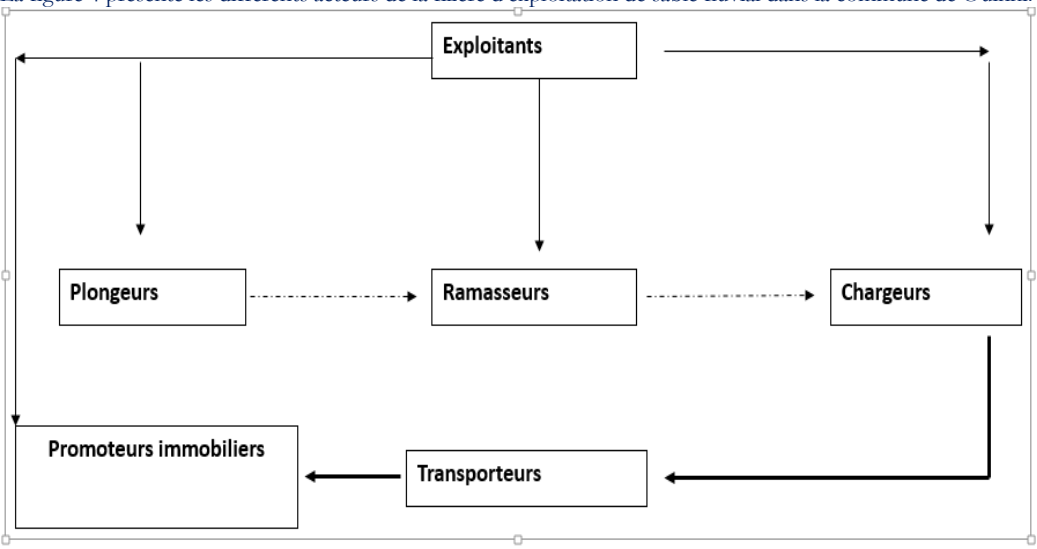


Figure 4 ***: Diagramme des divers acteurs de l'exploitation du sable dans la commune de Ouinhi***

L'analyse de la figure 4 révèle une absence de lien entre les acteurs de cette filière et les autorités administratives s'observe. Ceci pourrait s'expliquer par le stade encore embryonnaire de la filière sable fluvial dans la commune. La filière sable est animée dans les Communes de Ouinhi par trois principaux acteurs à savoir : les exploitants, les transporteurs et les commerçants. Ces principaux acteurs, dits acteurs directs.

Mode d'exploitation du sable fluvial dans la commune de Ouinhi

Deux (2) modes d'exploitation s'observent dans la commune concernée par l'étude. Il s'agit notamment de l'exploitation artisanale et mécanique. A Ouinhi, cinq sites d'exploitation artisanale sont identifiés dans les villages de Sagon–centre à Dolivi, Ahogo, Houaidja, Akassa et Gangban. Le tableau III présente la localisation de ces sites.

Tableau III : Localisation des sites d'exploitation de sable fluvial à Ouinhi

COMMUNES	Site de prélèvement (Localité)	Coordonnées	
		X	Y
OUINHI	Houaidja	437355	782962
		437316	783051
	Ahogo	437449	786205
		437455	786233
	Sagon	436578	790790
		436641	790805
	Akassa	436877	781787
		435422	779690
	Gangban	435049	775393
		435168	775485

Source *: Travaux de terrain, janvier 2021*

Site de Houaidja : Le site de Houaidja se compose d'un ensemble d'éléments physiques et biologiques déterminant le type d'environnement géographique dans lequel se déroulent les différentes activités d'exploitation du sable notamment du type artisanal. Du point de vue géomorphologique, la berge de ce site

présente un relief irrégulier avec une pente brusque et profonde érodée à certains endroits. Il faut noter que cette pente ne facilite pas le ramassage du sable des pirogues accostées vers l'aire de stockage primaire par les femmes ramasseuses. Cette pente constitue en effet un risque de glissement pour les exploitants. Il faut rappeler qu'à Houaidja, le sable affleurant se trouve sur la rive droite et les exploitants opèrent sur la rive gauche, la traversée du fleuve en période de hautes eaux et basses eaux jusqu'au tarissement du fleuve en mars et avril constitue une pénibilité pour ces derniers. Pour améliorer les conditions de travail des exploitants de Houaidja, l'introduction des dragues pourrait être un avantage pour ces derniers. Ainsi, la drague sera installée sur le lit du fleuve pour aspirer le sable et le rejeter sur l'aire de stockage pour être chargé à l'aide des pelles maçon dans des camions. La construction d'un slipway et l'aménagement des berges permettra de réduire l'érosion à ce niveau et permettre aux exploitants d'opérer normalement. La photo 2 et 3 présente l'état du site et conditions de travail des exploitants sur le site de Houaidja.

Photo 2 : Berge gauche érodée et conditions de travail des exploitants

Photo 3 : Gisement affleure sur la rive droite du fleuve - ***Prise de vue*** *: Blalogoé, janvier 2021*

La superficie aménagée pour l'entreposage du sable sur ce site n'est pas suffisante pour recevoir une quantité importante si l'exploitation devient semi-industrielle ou semi-mécanique. Ainsi, pour l'élargissement de cette aire de stockage, les pieds de palmier à huile aux abords du site seront détruits ainsi que la végétation herbeuse. La voie d'accès au site à son état actuel nécessite seulement à être aménagé et entretenu. Elle ne peut être élargie pour empiéter sur la flore. La photo 4 présente l'état de la voie d'accès (photo 4a) et de l'aire de stockage (photo 4b).

a b

Photo 4 : Voie d'accès au site (a) et aire de stockage (b)- ***Prise de vue*** *: Blalogoé, janvier 2021*

Il ressort de résultats des travaux de terrain que l'exploitation de sable dans le village de Houaidja se fait de façon artisanale. La période d'activité est définie d'Octobre à Juillet et en période de décrue. Elle est pratiquée en grande

partie par des femmes qui à travers des seaux et des pelles, prélèves le sable du lit du fleuve vers les aires de stockage. Par contre, en période de crue, les femmes cèdent cette opération aux hommes. Ainsi, le mode d'extraction par ces derniers se fait par plongeon à l'aide des seaux ou plats adaptés pour le prélèvement du sable et chargement dans des pirogues.

En cette période, les femmes attendent sur les berges pour décharger le sable des pirogues à l'aide des bassins pour l'aire de stockage primaire avant de le transporter vers l'aire de stockage secondaire. Que ce soit en période de crue ou de décrue, les exploitants démarrent à 4 heures du matin.

Le prix du sable dans cette localité varie en fonction des saisons. En période de crue, le prix de vente de sable par pirogue est à 1000 F et en période de décrue, il se vend à 500 FCFA. Le déchargement du sable des pirogues vers l'aire de stockage primaire et secondaire est de 25 F par bassine. La photo 1 présente les équipements utilisés pour le transport et le déchargement du sable tel que décrit.

Photo 5 : Équipements de transport à gauche et de déchargement de sable à droite- Prise de vue : Blalogoé, janvier 2021

Il faut noter que dans cette localité, les exploitants exercent également d'autres activités secondaires telles que l'agriculture, la pêche et l'élevage. Les femmes rencontrées dans ce village affirment que l'activité d'exploitation de sable n'est pas rentable. Car il y'a des taxes y afférentes. Ainsi, sur les fonds perçus sur chaque camion qui varient de 24 000 à 45 000 FCFA respectivement pour les camions de 6 roues et 10 roues. Les taxes perçues sur chaque camion varient entre 5000 FCFA et 10 000 FCFA. Par ailleurs, l'exploitation de sable dans le village de Houaidja permet aux exploitants de subvenir aux besoins de première nécessité tels que l'alimentation des ménages de ces derniers, le paiement des cotisations scolaires des enfants et les soins primaires.

En ce qui concerne l'aspect organisationnel des acteurs, sur ce site, les acteurs ont mis en place une organisation qui leur permet de mieux mener leurs activités. Il ressort des résultats des données collectées, qu'ils existent deux groupements d'exploitant sur le site de Houaidja. Chaque groupement compte 33 membres et est composé de 16 femmes et de 17 hommes et dispose d'un bureau. Le bureau du groupement est dénommé SONAGNON et est composé de 6 membres dont 2 femmes. L'organisation du bureau se présente comme suit :

- ✓ Un (e) Président (e) ;
- ✓ Un (e) Vice-président (e) ;
- ✓ Un (e) Secrétaire ;
- ✓ Un (e) Secrétaire adjoint (e) ;
- ✓ Un Trésorier ou une Trésorière ;
- ✓ Un Organisateur.

Dans cette localité, les acteurs rencontrés déclarent qu'ils manquent des moyens financiers et techniques pour l'achat des équipements et une exploitation rationnelle et rentable. Certains éprouvent le besoin des moyens financiers pour l'achat et le stockage du sable auprès des ramasseuses pour une revente.

Site de Ahogo : L'état environnemental du site de Ahogo présente les mêmes aspects que celui de Houaidja. Du point de vue géomorphologique, la berge de ce site présente un relief irrégulier avec une pente brusque et profonde érodée également à certains endroits. Cette pente ne facilite pas le ramassage du sable des pirogues accostées vers l'aire de stockage primaire par les femmes ramasseuses. Cette pente constitue en effet un risque de glissement pour les exploitants. Comme sur le site de Houaidja, les exploitants traversent la rive gauche pour prélever le sable sur la rive droite et c'est sur la rive droite que l'aire de stockage est aménagée. Il faut noter que l'exploitation semi-industrielle ou semi-mécanique peut être également favorable sur ce site. Ainsi, la drague sera installée sur le lit du fleuve pour aspirer le sable et le rejeter sur l'aire de stockage pour être chargé à l'aide des pelles maçon dans des camions. La construction d'un slipway et l'aménagement des berges permettra d'améliorer les conditions de travail et réduire l'érosion de la berge. Les photos 5 et 6 présentent l'état d'érosion des berges de la rive en exploitation, les équipements et conditions de travail.

Photo 6 : Erosion des berges gauches érodées

Photo 7 : Equipements et conditions de travail -***Prise de vue*** *: Blalogoé, janvier 2021*

La particularité de ce site comparée au site de Houaidja est sa proximité avec les espaces de culture de coton et du maraichage. L'érosion emporte d'une part les arbres en bordure du fleuve et les espaces de culture d'autre part. L'activité d'exploitation du sable vient renforcer la pression sur les espaces de culture en érigeant l'aire de stockage sur ces espaces de culture. La photo 7 présente l'état actuel du site.

Photo 8 : Etat environnemental du site du projet- ***Prise de vue*** *: Blalogoé, janvier 2021*

L'aménagement de la voie d'accès nécessite également de l'espace donc son élargissement empiètera également sur les champs de coton traversés par cette voie. A Ahogo, la période d'activité d'exploitation de sable artisanale débute de septembre à mi- juillet. L'activité est pratiquée de lundi au samedi de 6 h à 19 h. La journée du dimanche est interdite par le chef de village.

Les tâches sont réparties en fonction du genre. Ainsi, les tâches réservées aux femmes se résument au déchargement de du sable dans des pirogues et de son stockage sur l'aire de stockage. Pendant la décrue, les pirogues sont garées et les femmes procèdent au ramassage du sable dans le lit du fleuve pour le point de stockage intermédiaire puis secondaire. Quant aux hommes, les tâches qui leur sont réservées se résument au prélèvement du sable par plongeon d'une part pendant la période de hautes eaux, à la vente et au chargement du sable dans les camions. Les moyens utilisés par les femmes pour les différentes tâches qui leur sont assignés sont les des bassines et des plateaux. Sur le site, la vente se fait par pirogue et il se vend à 1000 F CFA en période de crue et à 500 F CFA en période de décrue. Les femmes sont payées à 25 F CFA par bassine lors de déchargement de la

pirogue. Le prix de vente est fonction des conditions de négociation. Si les camions viennent directement sur le site sans intermédiaire, le prix de vente est fixé à 120 000 F CFA. Mais, si l'exploitant intervient dans la négociation, le prix de vente revient à 80 000 ou 90 000 par camion. A Ahogo, l'exploitation du gravier s'opère également. Le gravier est vendu à 60 000 F CFA pour les camions de 6 roues et 180 000 F CFA pour les camions de 10 roues. Le chargement de ces matériaux dans les camions se fait par une équipe des chargeurs. Ces derniers sont payés entre 4500 et 5000 F CFA pour le chargement de sable des camions de 10 roues et à 8 000 F CFA pour le gravier. Le village prélève 1000 F CFA sur chaque camion chargé comme taxe de développement local. Les photos 8 et 9 présentent les conditions d'exploitation sur le site de Ahogo.

a

b

Photo 9 : Pirogue de transport de sable (a) et Aire de stockage et camions de transport de sable (b)

a

b

Photo 10 : Aire de stockage du sable aménagé sur la voie d'accès (a) et Opération de rechargement par le groupe des chargeurs (b) -***Prise de vue*** *: Blalogoé, janvier 2021*

Les revenus perçus par les femmes de l'activité varient de 2000 F CFA à 3000 F CFA par jour. Le revenu tiré de l'exploitation est investi dans l'éducation et la santé des enfants mais aussi dans l'alimentation afin de soutenir le chef de ménage dans ses responsabilités. L'Organisation mise en place se fait par ce groupement. Ce groupement a un bureau constitué de 7 membres :

- ✓ Président ;
- ✓ Vice-président ;
- ✓ Secrétaire ;
- ✓ Trésorier ;
- ✓ Trésorier adjoint ;
- ✓ Organisateur ;
- ✓ Organisateur adjoint.

Il ressort des discussions avec les acteurs de cette localité que les exploitants désirent se conformer aux normes régissant le secteur pour opérer en toute quiétude. L'insuffisance des moyens financiers pour es moyens financiers et le manque de formation des acteurs pour les meilleures techniques d'exploitation constituent des obstacles majeurs pour ces derniers.

Site de Sagon à Dolivi

Le site de Sagon, localisé principalement dans le village Dolivi est situé proche des agglomérations et exploité majoritairement par des femmes et enfants. Elle présente les mêmes caractéristiques morphologiques que les deux autres sites de la Commune Ouinhi (Houaidja et Ahogo) mais, l'érosion est trop accentuée à ce niveau. L'environnement de ce site est pollué par un dépotoir sauvage marqué par la présence de tout type de déchets solides ménagers près de la berge. Ce dépotoir constitue un facteur de risque pour les exploitants. Le facteur influençant l'accentuation de l'érosion du site est la présence d'une infrastructure de franchissement vétuste. Les

débris de cet ouvrage influencent le courant et l'écoulement des eaux de l'amont vers l'aval et accélère le dépôt des sédiments avec un volume important. Ce dépôt favorise l'exploitation en période d'étiage constaté sur site. Les photos 10 à 14 présentent l'état actuel du site.

Photo 11 : Dépotoir sauvage

Photo 12 : Unités d'occupation du sol autour du site

Photo 13 : Erosion de la berge constatée avec déracinement des plantes

Photo 14 : Erosion de rive gauche du fleuve
Prise de vue *: Blalogoé, janvier 2021*

Photo 15 : Accumulation du sable à la rive droite et érosion de la rive gauche - ***Prise de vue*** *: Blalogoé, janvier 2021*

De l'analyse de la planche 11, il est constaté une forte occupation de la berge du site de Sagon avec différentes installations humaines. L'érosion est également très accentuée sur ce site. La particularité de ce site reste l'exploitation massive des enfants dans la filière sable. La photo 15 présente les conditions de travail des exploitants sur le site.

Photo 16 : Exploitation des enfants sur le site ***Prise de vue*** *: Blalogoé, janvier 2021*

Vu l'accentuation de l'érosion de ce site, il urge de prévoir des aménagements conséquents pour sauvegarder les installations humaines proche de cette berge. Un quai pourrait faciliter le passage des femmes vers la rive droite pour le prélèvement du sable. Il faut noter l'absence d'une aire de stockage bien aménagée pour l'entreposage du sable. L'exploitation la mieux adaptée pour ce site est l'usage d'une drague. Ainsi, la drague sera installée sur le lit du fleuve pour aspirer le sable accumulé sur la rive vers la rive gauche et le rejeter sur l'aire de stockage pour être chargé à l'aide des pelles maçon ou des bassines par les femmes et rechargé dans des camions. Ce qu'il faut retenir des sites de Ouinhi, les exploitants se sont installés sur la rive gauche et traversent le fleuve à l'aide des pirogues pour y prélever du sable et ceci, en période de crue. En période d'étiage, après le retrait des eaux, les femmes traversent à pied et à l'aide des bassines et seaux maçons pour y prélever du sable. L'aire de stockage est aménagée sur les berges de la rive gauche et l'érosion est accentuée de ce côté. L'exploitation de sable à Sagon n'est pas différente de celle des autres villages de la Commune de Ouinhi. Elle se pratique de décembre de décembre à juillet de lundi au samedi. Les tâches sont réparties entre les femmes et les hommes. Les femmes s'occupent de ramassage dès que le gisement affleure le sol après le retrait de l'eau pour le stocker sur la berge, soit déchargent des pirogues vers les berges pendant la période de crue. Chaque femme délimite son aire de stockage et y stocke le sable. L'organisation mise en place dans cette localité favorise la division du travail.
L'homme conduit la pirogue du sable et les autres membres (femmes) font le ramassage et après le sable est vendu. La vente de ce sable par pirogue se fait à 1 000 F CFA par tricycle ou par tas de 10 bassines. Le contenu du tricycle est vendu à 800 F CFA et le chargement est assuré par le conducteur lui-même. Les recettes perçues sont divisées par 3 et réparties comme suit :
25 % vont pour la caisse du groupement et est utilisé sous forme de prêt aux membres en difficulté. Le prêt est remboursé avec un intérêt de 1 000 F CFA sur 10 000 ;
50 % partagé entre les membres ;
25 % sert à secourir les membres en difficulté ou pour les mesures d'urgence.

Le revenu partagé est de 2000 F CFA en moyenne journalière. Le revenu tiré de l'exploitation de sable par les femmes dans le village de Sagon est réparti entre l'éducation, la santé des enfants et l'alimentation du ménage. Selon les résultats d'entretien avec les femmes exploitantes, ce revenu ne permet qu'à subvenir au besoin des ménages. Le travail d'exploitation du sable dans le village de Sagon se fait par un groupement de 22 membres dont 1 homme. L'Organisation mise en place par ce groupement Ce groupement a un bureau de 7 membres :

- ✓ Président ;
- ✓ Vice-président ;
- ✓ Secrétaire ;
- ✓ Trésorier ;
- ✓ Trésorier adjoint ;
- ✓ Organisateur ;
- ✓ Organisateur adjoint.

Ce groupement fonctionne de façon à contribuer au développement de ces membres. Ainsi, tous les revenus sont perçus par la caisse du groupement avant d'être répartis entre les membres. Les frais de chargement à accorder au chargeur qui est de 5000 F CFA pour les 10 roues et 3000 F CFA pour les 6 roues sont à la charge du groupement. Comme contraintes, les acteurs rencontrés évoquent l'accès aux pirogues pour les activités de prélèvement du sable sur le lit du fleuve à la berge. Les moyens financiers pour se procurer la pirogue posent problème du fait du coût exorbitant de fabrication d'une pirogue qui varie entre 120 000 à 150 000 F CFA. D'autres contraintes évoquées sont relatives à l'aménagement des voies d'accès au site, la piste Kpédékpo-Sagon, l'aménagement de l'aire de stockage, la construction d'un abri servant d'aire de repos et de garde des enfants, la recherche de marché d'écoulement du sable, l'achat. Les équipements/matériels (passoires, bassines, pirogues, plats, perles) pour le ramassage reste également un problème majeur.

Il faut préciser que les sites d'Akassa et Gangban ne sont pas accessibles, mais le mode d'organisation et de fonctionnement reste le même quand dans les trois (3) villages décrits.

Impacts identifiés et mesures de protection de l'environnement par site

Le tableau IV présente la synthèse des mesures par site identifiés dans la commune de Ouinhi.

Tableau IV : Synthèse des mesures de protection de l'environnement par site

Commune de Ouinhi			
Localisation	**Composante environnementale**	**Impacts**	**Mesures**
Houaidja	Faune et flore	Abattage des palmiers à huile pour l'aménagement de l'aire de stockage et destruction du couvert végétal pour l'élargissement de la voie d'accès	Reboisement compensatoire par des essences locales
	Milieu humain	Risque d'accident de travail Exploitation des enfants	- Doter les exploitants d'EPI adéquats et veiller à leurs ports effectifs ; - Eviter l'exploitation des enfants ; - Sensibiliser les exploitants sur les règles d'hygiène - Sensibiliser trimestriellement les exploitants du site et les riverains sur les méthodes préventives de lutte contre les IST et VIH/SIDA /Hépatites ; - Sensibiliser périodiquement les exploitants sur les mesures d'hygiène ; - Sensibiliser les conducteurs de camions sur la sécurité routière ; - Installer des panneaux d'indication et de et de limitation de vitesse sur la voie d'accès.
	Sol	Encombrement du sol par les déchets	- Éviter l'utilisation des sachets plastiques non biodégradable ; - Doter le site de poubelles pour le stockage des déchets ;
	Air	Emission des poussières et gaz d'échappement	- Arroser régulièrement la voie d'accès au site ; - Exiger le contrôle régulier des engins et camions de transport ; - Bâcher le chargement des camions.
Sagon	Faune et flore	Abattage d'arbres comme bois de chauffe, destruction du couvert végétal pour l'aménagement de la voie d'accès	- Limiter la destruction du couvert végétal dans l'emprise définie - Éviter les feux de végétation sur les sites et les voies d'accès
	Milieu humain	Risque d'accident de travail Risque d'accident de circulation Exploitation des enfants	- Doter les exploitants d'EPI adéquats et veiller à leur port effectif ; - Doter le site d'une boite à pharmacie pour les premiers soins - Sensibiliser les conducteurs de camions sur la sécurité routière ; - Sensibiliser trimestriellement les exploitants du site et les riverains sur les méthodes préventives de lutte contre les IST et VIH/SIDA /Hépatites ; - Sensibiliser périodiquement les exploitants sur les mesures d'hygiène.
	Sol	Encombrement du sol par les déchets	- Mettre en place des poubelles pour la pré-collecte des DSM ; - S'abonner à une structure d'enlèvement des déchets ; - Respecter la profondeur autorisée tout en évitant l'extraction des zones sensibles.
Ahogo	Faune et flore	Destruction et régression des espaces de cultures (champ de coton, maraichage)	- Délimiter les zones d'exploitation de sable des zones de cultures ;
	Milieu humain	Risque d'accident de travail et de circulation	- Doter les travailleurs d'EPI adéquats et veiller à leur port effectif ; - Former périodiquement le personnel sur les mesures de sécurité et santé au travail.
	Sol	Encombrement du sol pour les déchets	- Éviter l'utilisation des sachets plastiques non biodégradable ; - Doter le site de poubelles pour le stockage des déchets ; - Mettre en place un Comité d'Hygiène et Santé (CHS).
	Air	Emission de poussières et gaz d'échappement	- Arroser régulièrement la voie d'accès au site ; - Entretenir régulièrement les engins et camions de transport ; - Bâcher le chargement des camions ; - Aménager la voie d'accès au site ; - Entretenir régulièrement la voie d'accès au site

Source : Enquêtes de terrain, janvier 2021

Impact hydrologique de l'exploitation du sable sur les inondations du fleuve Ouémé

Les conséquences de l'ensablement du fleuve Ouémé sont multiples et ont des impacts considérables aussi bien sur l'environnement que les populations ou l'économie. L'ensablement entraîne la réduction du débit du fleuve, l'assèchement, voire la disparition de certains points d'eau. Le dépôt de matières solides en suspension et charriées modifient la morphologie du fleuve avec la formation des méandres qui parfois migrent et se recoupent. Ce phénomène est observé dans plusieurs localités de Dèhounta (Kpokissa) ou La rive gauche concave du fleuve est sapée par le courant d'eau, ce qui rend ces berges abruptes. La rive droite convexe dont la pente est douce (faible) se constitue d'alluvions. L'ensablement et les modifications du lit consécutives favorisent l'érosion des berges. Ce phénomène se traduit par une perte en terres valorisables (agriculture, constructions...) à Womèto et Sagon) par un ensablement accéléré du fleuve. Le déplacement de certains villages riverains peut même s'avérer nécessaire. La photo 16 présente l'érosion observée à Ahogo.

Photo 17 : Erosion de la rive gauche à Sagon et à Ahogo - ***Prise de vue*** *: Blalogoé, janvier 2021*

L'ensablement progressif du lit du fleuve Ouémé augmente les risques de sorties de lits ce qui est à l'origine des inondations dans les zones dépressionnaires. En effet, en période de crue, le bassin versant de l'Ouémé inondé libère dans le fleuve une grande quantité de matière organique. Des atterrissements importants peuvent diminuer la capacité d'écoulement des crues ou donner au chenal principal une orientation entraînant l'érosion d'une berge, que l'on désire protéger. L'enlèvement d'un atterrissement permet un "rééquilibrage hydraulique". Mais, si les conditions en amont et en aval ne sont pas modifiées, il se reformera lors d'une crue, en provoquant une érosion en aval compensant l'immobilisation de son volume. Pour que la modification d'un atterrissement ou son enlèvement n'ait pas de conséquence sur l'approfondissement du lit, il convient d'opérer un transfert de matériaux dans le lit principal.

Les sols sont dégradés, et le fleuve s'encombre de jacinthes d'eau et de radeaux de végétaux, arrachés aux rives par un niveau d'eau plus haut et un courant plus fort. Au-delà des pertes matérielles, les pertes en vies humaines et les déplacements de population sont également dramatiques. L'exemple le plus triste est celui de l'inondation de l'année 2010 avec toutes ses conséquences. La pollution et la dégradation des habitats suite au dépôt de sédiments entrainent la régression de la faune aquatique. Les mouvements anarchiques des bancs de sable désorganisent la vie végétale et animale dans et autour du lit du fleuve. L'ensablement par les divers déchets solides naturels et issus des milieux anthropiques peut générer ou favoriser le développement de certaines maladies. Ainsi, la décomposition de ces déchets entraîne la prolifération des vecteurs de maladies telles que le choléra, les fièvres typhoïdes et les dysenteries.

CONCLUSION

Le mode d'exploitation du sable fluvial dans la commune de Ouinhi est de type artisanal. Les équipements et matériels utilisés pour ce mode d'exploitation sont rudimentaires et archaïques. Un seul promoteur fait l'usage des engins lourds pour une exploitation mécanisée. Le manque d'organisation des acteurs (exploitants) d'une part et de la filière sable d'autre part dans les communes concernées constitue un facteur limitant le développement de la filière sable.

Au terme de la présente étude, il est indispensable de rappeler que, dans le cadre de l'exploitation du sable fluvial dans la commune, obligation devra être faite à tout promoteur/exploitant de réaliser ou de faire réaliser une étude d'impact environnemental simplifiée (exploitation artisanale) et approfondie (exploitation mécanique) sur les sites envisagés.

Références

[1] ABE (2001) : Guide sectoriel d'étude d'impact sur l'environnement des projets d'exploitation des ressources minérales et de production industrielle en République du Bénin, 21p.

[2] ADECHINA (2018) : Influence des facteurs paléo climatiques, géomorphologique et anthropiques sur l'environnement du Delta de l'Ouémé. Thèse de Doctorat de l'université d'abomey-calavi 200p.

[3] Barbé, Millet, Texier, Borel, Gualde (1993) : Les ressources en eaux superficielles de la république du bénin. Éditions de l'ORSTOM. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération Collection Monographies Hydrologiques n° 11 paris 1993 p543.

[4] Commune de Ouinhi (2017) : Plan de Développement communal 3e génération (PDC III 2017-2021), 163 p.

[5] DAMBRE (1996) : Les extractions de matériaux dans le lit mineur et le lit majeur de la Loire et de ses affluents, la HOUILLE BLANCHE-N°6/7.6p

[6] Giress (1978) : Le contrôle climatique de la sédimentation marine et continentale en Afrique centrale atlantique à la fin du Quaternaire : problème de corrélation. Palaeogeography, paleoclimatology, palaécolgy, 23, pp87-77.

[7] INSAE (2004) : Effectifs de la population des villages et quartiers du département de l'Atlantique, Bénin. Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH-3), 85p.

[8] INSAE (2015) : RGPH- 4 : Que retenir des effectifs de la population en 2013 ? Directions des Etudes Démographiques. Caractéristiques générales de la population. Résultats définitifs (RGPH4), 33p.

[9] LALEYE, P., (2004) : Mission d'évaluation d'un programme d'aménagement des zones humides du sud-Bénin. Domaine : Pêche /Biodiversité des communautés de poissons. Rapport de mission. Ambassade Royale des Pays-Bas. Cotonou/Bénin. 34p + annexes.

[10] MONIOD (1973) : Régime hydrologique de l'Ouémé (Dahomey) ; Cah.O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol., vol. X, no 2 13p.

[11] OBEMINE, (1986) : Recherche de sites de Sable Hors Littoral. Première version : « Sô Ava et ses environs », rapport de mission, Cotonou, 21p.

[12] Office Béninois de Recherches Géologiques et Minières (OBRGM), (2000) : Potentialités minières du Bénin. Cotonou, Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique (MMEH), 52 p.

[13] Paradis G. (1977) : Observation sur l'holocènee recent du Sud-Bénin (ex-Dahomey), Add Sénégal Et. Afr.Bull. Laison Sénégal.N°51,49-73.

[14] République du Bénin (2006) : loi n°2006–17 du 17 octobre 2006 portant code minier et fiscalités minières.

[15] Slansky (1962) : Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. Mémoire des bureaux de recherches géologiques et minières n°11, 270p.

[16] Société Canadienne de Sel Ltée (2006) : Etude d'Impact sur l'Environnement. Programme décennal de dragage d'entretien du chenal maritime de Mines Sel Ltée à Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine, 158p.

[17] TOHME G. H. (1991) : Éducation et protection de l'environnement. Paris, édition PUF, 286 p.

[18] WATHERN (1988) : Environmental Impact Assessment: Theory and Practice, Routledge, London, 5 p.

[19] Zannou, Vodounou (2011) : Evolution des crues annuelles liées aux changements climatiques et adaptation des populations de la basse vallée de l'Ouémé. Mélange Mac, ISBN 978-99919-867-2-2. Université d'Abomey-Calavi, 16p.

Souihi Mouna, Trabelsi Imen, Radaoui Anis, Khammassi Marwa, Amri Ismail and Mabrouk Yassine
Valorisation des extraits de Melissa officinalis Tunisienne et étude des activités antifongique et antibactérienne
Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,
Vol. (vii), No.1, Mars 2022, pp. 83-89
ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access
www.jiste.org
Scientific Press International Limited
Received: 17 Jan. 2022 / Revised: 23 January 2022 / Accepted: March 2022 / Published: March 2022

Valorisation des extraits de Melissa officinalis Tunisienne et étude des activités antifongique et antibactérienne

Souihi Mouna[1], Trabelsi Imen[1], Radaoui Anis[3], Khammassi Marwa[4], Amri Ismail[2], Mabrouk Yassine[2]

[1]. National Institute for Agricultural Research of Tunisia Av. Hedi Karray, Tunis
[2]. National Centre for Nuclear Science and Technology Technology - Sidi Thabet
[3]. Laboratory Service, National Bone Marrow Transplant Centre, Tunis,
[4]. National Research Institute for Rural Engineering, Water and Forestry

Résumé

La multi-résistance des micro-organismes aux antibiotiques et aux molécules antimicrobiennes synthétiques évoluent de façon très inquiétante. De nouvelles pistes de recherche deviennent essentielles pour développer des alternatives. Melissa officinalis L. est une plante médicinale rare en Tunisie, elle est connue comme une source potentielle pour le traitement d'un large éventail de maladies. Les activités antimicrobiennes et antifongiques et la teneur en flavonoides a été étudiée chez les extraits méthanolique de Mélissa officinalis de différentes origines : deux populations tunisiennes (Nefza et Tabarca) une Allemande et une Française. Les populations tunisiennes Nefza et Tabarka présentent les teneurs les plus importantes en flavonoïdes totaux qui sont de 0,026 et 0,023mg EC/g RS respectivement en comparaison avec les mélisses introduites dont les teneures sont de l'ordre de 0,012 mg EC/g RS pour la population Allemagne et 0,008mgEC/g RS pour la population France. L'extrait méthanolique de M. officinalis de la population Nefza possède une bonne activité contre les bactéries Escherichia coli, P. aeruginosa, S. aureus et E. faecium. Contrairement aux populations Tabarka, France et Allemagne, dont le pouvoir antibactérien se limite à la souche S. aureus. L'extrait éthanolique de M. officinalis de la Tunisie a montré une faible activité antifongique contre les trois souches de Fusarium étudiées, cette activité n'a pas dépassé 10% d'inhibition de la croissance des champignons même à des fortes doses de l'ordre de 600et 800 µl/ml d'extrait dans le milieu de culture.

Mots clés : Melissa officinalis, flavonoides, antifongique, antibactérien, Fusarium.

Valorization of Tunisian Melissa officinalis extracts and study of antifungal and antibacterial activities

Abstract:

The bioresistance and multiresistance of microorganisms to antibiotic and synthetic antimicrobial molecules are evolving in a very worrying manner. New avenues of research are becoming essential to develop alternatives. Melissa officinalis is a rare herbal medicine in Tunisia, it is known as a potential source for the treatment of a wide range of diseases. Melissa officinalis extracts from different origins have been used for the enhancement of new antimicrobial and antifungal phytomolecules. The flavonoid contents of methanolic extracts vary from 0.026 to 0.008 mg CE / g DR. Tunisian lemon balm has the highest levels of total flavonoids which are of the order of 0.026 and 0.023 mg CE / g DR in comparison to introduced lemon balm which has a content of total flavonoids of the order of 0.012 mg EC / g DR for the German population and 0.008mgEC / g DR for the French population. The methanolic extract of M. officinalis L. from Nefza population has good activity against the bacteria tested (Escherichia coli, P. aeruginosa, S. aureus and E. faecium.) On the other hand, for the methanolic extracts from the Tabarka population, France and Germany, the antibacterial power is limited to the strain S. aureus. The ethanolic extract of M. officinalis from Tunisia showed a weak antifungal activity against the three strains of Fusarium studied, this activity did not exceed 10% d 'inhibition of fungal growth even at high doses of the order of 600 and 800 µl / ml of extract in the culture medium.

Key Words*:* Melissa officinalis, flavonoids, antifungal, antibacterial, Fusarium.

[1] Corresponding author: souihimouna@gmail.com

INTRODUCTION

La mélisse (*Melissa officinalis* L.) est connue depuis des siècles en tant que plante médicinale dont les utilisations traditionnelles ont été validées par des études pharmacologiques modernes. , les extraits bruts et les composés purs isolés de *M. officinalis* ont révélé de nombreux effets pharmacologiques. Tel que les activités anxiolytiques, antivirales et antispasmodiques ainsi que des effets sur l'humeur, la cognition et la mémoire qui ont été démontrés lors d'essais cliniques (Herodez*et al.,* 2003 ; Dastmalchi *et al.,* 2008, Shakeri *et al*., 2016). Le développement de l'utilisation de la mélisse pour la santé humaine est indéniable. En plus des effets pharmacologiques révélés, d'autres utilisations, notamment dans le domaine de l'agriculture et des produits phytosanitaires ont été reportées. En effet, depuis l'antiquité, l'homme s'est servi des plantes pour lutter contre certains végétaux, insectes, phytopahtogènes, rongeurs et autres "nuisibles". Mais ces pesticides et fongicides naturels ont laissé place aux produits de synthèse au cours de la Seconde Guerre Mondiale, car les matières premières végétales ne pouvaient pas fournir un rendement suffisant. Cependant, depuis quelques années, les produits naturels sont de nouveau sur le devant de la scène par souci écologique principalement, respect de l'environnement, impact sur la santé humaine, mais aussi parce que l'emploi des produits de synthèse a provoqué beaucoup de résistance chez les insectes et chompignons par exemple (Regnault-Roger *et al.,* 2012). Ainsi, différents extraits de la mélisse ont utilisés en tant qu'herbicide, insecticide, et antifongique (Kato-Noguchi et Ino 2001 ; Ebadollahi *et al.,* 2016).
Melissa officinalis appartient aux 49 espèces rares et menacées d'extinction en Tunisie (Ben Brahim *et al*., 2014), elle n'a pas fait l'objet d'aucune étude approfondie en Tunisie en dépit des intérêts multiples aussi bien dans le domaine médicinal qu'environnemental. Dans le présent travail le dosage des flavonoides et l'évaluation de l'activité antibactérienne et antifongique des extraits de mélisse ont été étudiés.

MATERIEL ET METHODES

Les flavonoïdes totaux : Les feuilles séchées et broyées des quatre populations de mélisse (Tabarka, Nefza, France et Allemagne) ont été extraites par du méthanol 80% pour le dosage des flavonoïdes. 20g de la poudre de la mélisse ont été macérés pendant 3 h dans 400 ml de méthanol. Les extraits ont été filtrés avec filtre Whatman N°1 puis évaporé sous vide et séché jusqu'à un poids constant du résidu sec. . La quantification des flavonoïdes a été effectuée selon la méthode de Zhishen *et al*., (1999) Ainsi, dans un premier temps500µl de l'extrait méthanolique on été mélangé avec 2 ml d'eau distillé puis avec 150 µl de nitrite de sodium ($NaNO_2$) à 5%. 5 min plus tard, 100 µl de trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) à 10% (m/v) a été ajouté au mélange qui a été incubé à la température ambiante, et additionné 6 min plus tard par 1 ml de NaOH 1M.L'absorbance a été déterminée à 510 nm contre blanc. La concentration des flavonoïdes est déduite à partir d'une gamme d'étalonnage établie avec la catéchine de concentration massique croissante allant de 0.01 à 0.09 mg/ml préparées dans le méthanol à 80 %. Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent de catéchine par gramme de résidu sec (mg EC/g de RS).
Activité antibactérienne : L'effet antimicrobien des extraits méthanolique de *Melissa officinalis L.* de différentes origines (Tabarka, Nefza, Allemagne et France) ont été testés sur quatre souches bactériennes multi-résistantes de référence aimablement fournies par le service microbiologie de la Banque du Sang de Tunis (tableau 1).
Tableau 1. Les souches bactériennes utilisées dans les essais des activités antibactériennes

Nom	Catégorie	Référence
Pseudomonas aeruginosa	Gram -	ATCC27853
Escherichia coli	Gram -	ATCC25922
Staphylococcus aureus	Gram+	ATCC29213
Enterococcus faecium	Gram+	ATCC 29212

La sensibilité des souches aux extraits méthanolique des feuilles des mélisses étudiées a été réalisée par la technique de disque en milieu gélosé. Une suspension bactérienne diluée au 1/10 dans de l'eau physiologique de chaque bactérie testée est ensemencé dans des boites de Pétri contenant de la gélose nutritive. Des disques de papier Wattman de 6mm de Ø, imprégnés de 10 µl de solution de l'extrait méthanolique (dissouts dans le di-méthylsulfoxyde (DMSO)), ont été déposés à la surface des boites de pétri ensemencées par les souches à tester. Les boites sont incubées à une température de 37°C pendant 24 heures. La lecture se fait par la mesure du diamètre de la zone d'inhibition autour de chaque disque, en mm (Cohen et Grimprel, 2013). L'activité antibactérienne des extraits méthanolique de mélisse est estimée en termes de diamètre de la zone d'inhibition autour des disques contenant l'extrait méthanolique à tester vis-à-vis des germes pathogènes après 24 heures d'incubation à une température adéquate de 37°C (Ponce *et al.,* 2003), (tableau 2).

Tableau 2. Sensibilité des souches microbiennes en fonction des zones d'inhibition (Ponce et al., 2003)

Sensibilité	Zone d'inhibition
Non sensible ou résistante (-)	Diamètre< 8mm
Sensible (+)	Diamètre compris entre 9 à 14 mm
Très sensible (++)	Diamètre compris entre 15 à 19 mm
Extrêmement sensible (+++)	Diamètre> 20 mm

Activité antifongique : Le pouvoir antifongique a été étudié a partir des extraits éthanoliques des feuilles séchés et broyés des deux populations tunisiennes de *Melissa officinalis* L. Tabarka et Nefza selon la technique décrite par Delespaul (2000). En effet, les extraits ont été dissous dans le solvant Diméthylsulfoxyde (DMSO) D'autre part des boites de Pétri ont été remplies par de milieu PDA+ extraits éthanolique de mélisse suspendues dans la solution de DMSO avec les concentrations suivantes (0, 200, 400, 600, 800 mg/ml). Trois répétitions par population de mélisse et par concentration de l'extrait éthanolique ont été réalisées.
Les souches de champignons utilisées pour ce travail sont *Fusarium solani, F. culmorum et F. redolens* (tableau 3). Les trois souches de *Fusarium* appartiennent à la collection du mycothèque du Laboratoire de Protection des Végétaux de l'INRAT.

Tableau 3. Les trois souches fongiques pathogènes testées

Numéro des pathogènes	Nom des pathogènes
F1	*F. solani*
F2	*F. culmorum*
F3	*F. redolens*

Traitement des données et analyses statistiques : L'analyse statistique a été réalisée avec le logiciel SAS, Analyse de la variance à un facteur pour l'ensemble des paramètres étudiés (ANOVA).La comparaison des moyennes et la définition des groupes homogènes à 5%.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les flavonoïdes totaux

La richesse de l'extrait méthanolique en composées phénoliques a conduit au dosage des flavonoïdes. Les teneurs des extraits méthanolique en flavonoïdes chez les mélisses varient 0,008 0,026 à mg de catéchine / g RS selon leur origine (Fig . 1). Les mélisses tunisiennes présentent significativement les teneurs les plus importantes en flavonoïdes totaux., Elles sont de l'ordre de 0,026 et 0,023mg EC/g RS respectivement pour les populations Nefza et Tabarka alors que les mélisses introduites présentent respectivement 0,012 mg EC/g RS et 0,008mg EC/g RS pour la population allemande et la population française. Les mélisses tunisiennes sont deux fois plus riches en flavonoïdes totaux en comparaison avec la mélisse Allemande et de trois fois plus riche en ces molécules par rapport à la mélisse de la France.

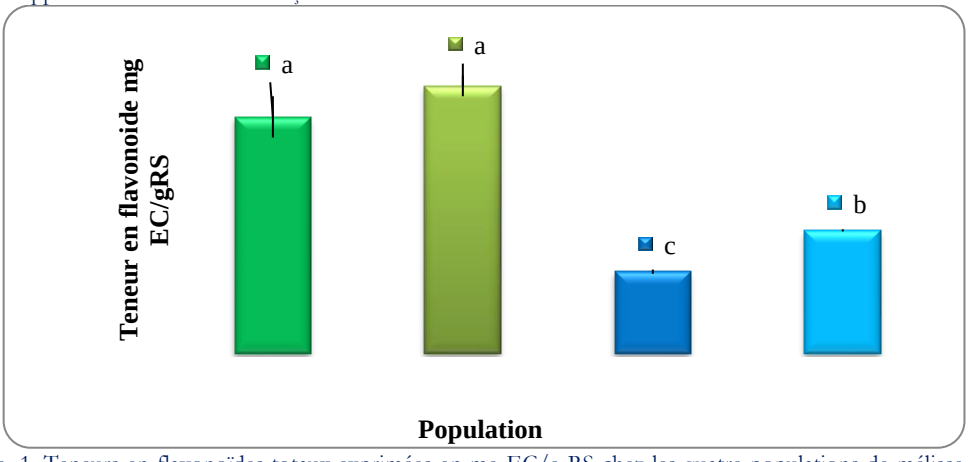


Fig. 1. Teneurs en flavonoïdes totaux exprimées en mg EC/g RS chez les quatre populations de mélisse. Les valeurs (moyennes de trois répétitions) suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Les teneurs en flavonoïdes des mélisses étudiées sont très faibles en comparaison avec d'autres mélisses de différentes origines. On cite par exemple, le taux moyen des flavonoïdes de la mélisse d'origine algérienne, marocaine et égyptienne qui sont de l'ordre de 3,295 mg EC / g de RS, de 16,4 mg EC / g de RS et de 72,38 mg EC/g de RS respectivement (Brahmi *et al.,* 2015 ; Bounihi, 2016 et Hassan *et al.,* 2019).

Activité antibactérienne : L'activité antimicrobienne des bactéries Gram négatif (*E. coli et P.aeruginosa)* et Gram positif (*E. faecium* et *S. aureus*) a été évaluée chez les extraits méthanolique. Les résultats des tests d'inhibition de la croissance microbienne sont illustrés dans le tableau 3.

L'analyse des résultats du test antibactérien ont montré une sensibilité des souches étudiées contre les extraits testés (Figure 2). L'extrait méthanolique de la population Nefza, a montré l'effet antibactérien le plus élevé sur la souche *S. aureus*, traduit par un diamètre de 15 mm et de 12 mm pour *P. aeruginosa,* alors que pour les souches *E. coli* et *E. faecium* 11 mm d'inhibition ont été observé. Contrairement à l'extrait de la population Nefza, les extraits méthanoliques des populations Tabarka, France et Allemagne, ne montrent pas un pouvoir antibacterien contre les trois souches *E. coli*, *P. aeruginosa* et *E. faecium.* Elles présentent un diamètre d'inhibition de 6 mm, alors que pour la souche de *S. aureus* 10 mm de diamètre d'inhibition a été noté. (tableau 3).

Bien qu'on n'ait pas utilisé un antibiotique de référence comme la gentamicine, le pouvoir antibactérien de l'extrait de mélisse est bien visible pour les extraits méthanolique de *M. officinalis* L. de la population Nefza qui possède une bonne activité contre les bactéries testées. Par contre, pour les extraits méthanolique des populations Tabarka, France et Allemagne, l'effet antibactérien se limite à la souche *S. aureus.* En effet, l'activité antimicrobienne de l'extrait méthanolique de *M. officinalis* dépend de l'origine de mélisse d'une part et d'autre part de la souche bactérienne elle-même, ce qui a été avancé par les travaux de Kalemba et Kunicka (2003). Les bactéries à Gram+ sont plus sensibles que les bactéries à Gram- (Poole, 2001). Ceci est dû aux différences structurales de leurs membranes externes et la complexité de l'enveloppe cellulaire de ces microorganismes qui contiennent une double membrane (Burt, 2004). L'activité antibactérienne observée pour les différentes mélisses est expliquée aussi par la teneur en flavonoïdes totaux préalablement déterminée. La population de Nefza a monté la valeur la plus importante des flavonoïdes qui confèrent des propriétés antibactériennes connues chez la plante, et leur absence pourrait donc expliquer le faible pouvoir antimicrobien observé (Iwalewa *et al.,* 2008). Ce qui explique le faible pouvoir antibactérien des extraits de mélisse introduites puisqu'elles ont présenté des taux de flavonoïdes relativement faibles.

Dans d'autres études même les extrait éthanolique de la mélisse ont présenté un effet antimicrobien contre *E. coli* et *S aureus* avec un diamètre d'inhibition de la croissance de 50 mm et 14 mm respectivement pour les deux souches (Adimi, 2018). Les souches de *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium* sont aussi très sensibles à l'extrait méthanolique de *Rosmarinus officinalis* L. de la famille des Lamiacées, avec un diamètre d'inhibition de croissance qui atteint 15,5 mm (Jafari-Sales et Hossein-Nezhad, 2020).

Tableau 3. Diamètres (mm) des zones d'inhibition induites par l'extrait méthanolique des quatre populations de mélisse étudiées.

	E. Coli ATCC25922	*P. aeruginosa* ATCC27853	*S. aureus* ATCC29213	*E. faecium ATCC*
Nefza	11 mm a	12 mm a	15 mm a	11mm a
Tabarka	Contact (6mm) b	Contact (6mm) b	10mm b	Contact (6mm) b
Allemagne	Contact (6mm) b	Contact (6mm) b	10mm b	Contact (6mm) b
France	Contact (6mm) b	Contact (6mm) b	10mm b	Contact (6mm) b

Sur la même colonne, les moyennes reliées par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

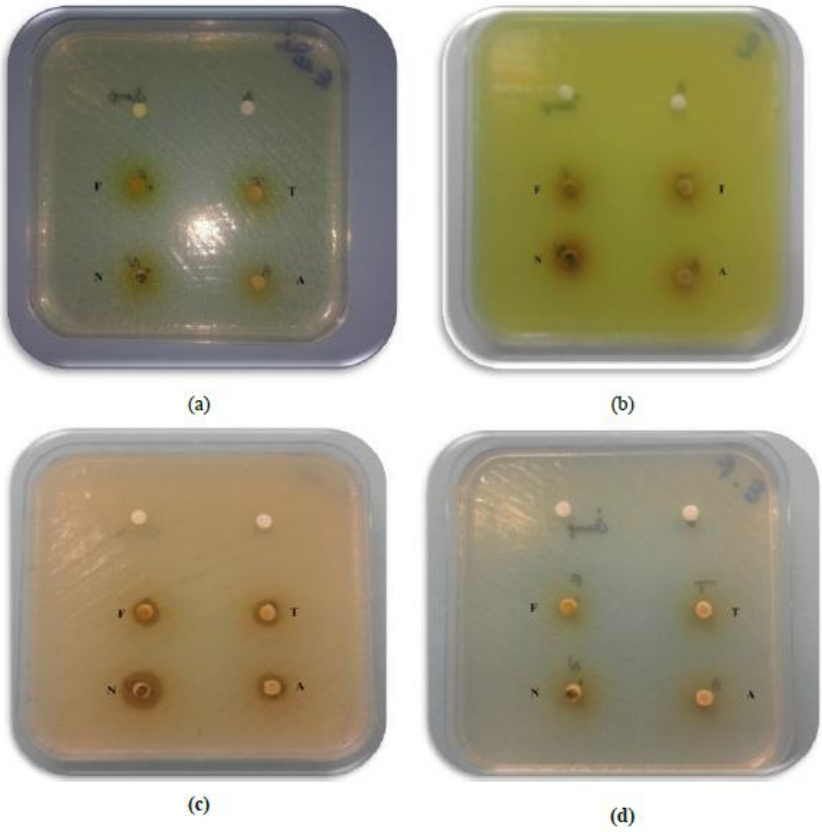
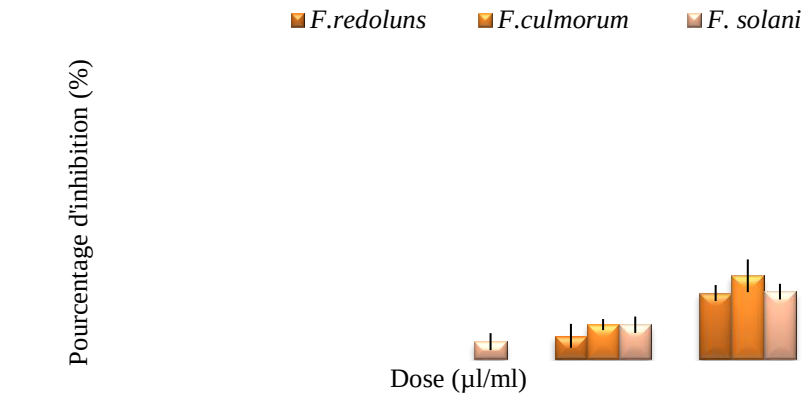
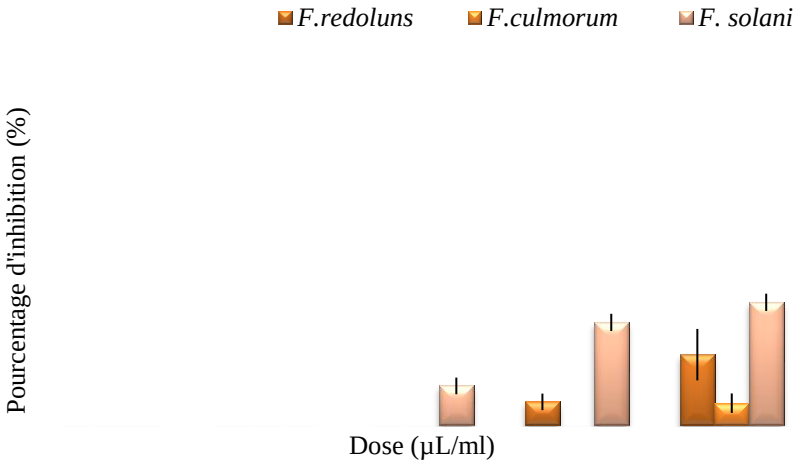


Fig. 2. Effet de l'extrait méthanolique des quatre populations de mélisse étudiées F: France; T: Tabarka, N: Nefza et A: Allemagne) sur la croissance de l'E. coli (a) , P. aeruginosa (b) , de S. aureus(c) et de E. faecium (d)

Activité antifongique : L'activité antifongique des extrait éthanolique des populations de mélisse Tabarka et Nefza a été testée sur trois espèces de *Fusarium* : *F. redoluns, F. culmorum*et *F. solani.* L'extrait éthanolique de *M. officinalis* de Tabarka a montré une faible activité antifongique pour les trois espèces étudiées. L'inhibition de la croissance de F. *redoluns* a été révélée à partir de 600 µl/ml et atteint le 4,25% d'inhibition avec 800 µl/ml d'extrait. Pour la souche F. *culmorum* on marque une inhibition de 5,37% avec 800 µl/ml. L'inhibition de la souche *solani* atteint le 4,34 % avec 800 µl/ml (Figure 6 a). Pour l'extrait éthanolique mélisse de Nefza, la croissance de la souche de *F. redoluns*, est touchée à partir de 600 µl/ml, et ne dépasse pas le 5% avec 800 µl/ml d'extrait. Pour l'espèce *culmorum,* l'effet de l'extrait éthanolique de Nefza est négligeable (1,32% d'inhibition avec 800 µl/ml). Cet extrait a pu inhiber la croissance de *F. solani* atteint le 7,45% d'inhibition à 800 µl/ml. Cette espèce *F. solani* est donc la plus sensible à l'extrait éthanolique de mélisse de Nefza (Figure 6 b). L'effet antifongique de l'extrait éthanolique dépond de la souche étudiée, ceci est confirmé par les résultats trouvés par Adimi (2018) où la mélisse du Maroc ne présente aucun effet sur la croissance de l'A*spergillus niger,* alors qu'il inhibe la croissance de *Candida albicans.* En revanche, Abdellatif (2014) a montré que les huiles essentielles de *M. officinalis* présente un pouvoir antifongique plus puissante que la nystatine (fongicide de référence utilisé) vis-à-vis *Fusarium ssp.* Ces activités importantes peuvent être liées aux principaux composés oxygénés (monoterpènes et sesquiterpènes) comme le citral, le citronellal et l'oxyde de caryophyllène, qui contient le HE de la *M. officinalis* en quantité appréciable (Abdellatif *et al.*, 2014). *M. officinalis* d'origine Italienne est parmi les plantes ayant une activité antifongique vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* (Rongai *et al.*, 2012).



(a)



(b)

Fig. 3. Pourcentage d'inhibition de la croissance des souches en fonction de la concentration de l'extrait éthanolique de la mélisse. (a): Tabarka (b) : Nefza

CONCLUSION

L'exploration des ressources phylogénétiques natives est l'un des principaux buts du programme des plantes médicinales et aromatiques entrepris à l'INRAT qui vise aussi l'évaluation et la conservation des ressources phylogénétiques spontanées rares et tout particulièrement les espèces menacées dans leur milieu naturel. Les extraits méthanolique de *Mélissa officinalis* tunisiennes sont deux fois plus riches en flavonoïdes que les l'extrait méthanolique des populations introduites (France et Allemagne). L'évaluation du pouvoir antifongique des extraits éthanolique de *Mélissa officinalis L.* des populations tunisiennes sont testés contre trois phytopathogènes du genre *Fusarium*. L'étude de l'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique de mélisse contre les quatre souches bactériennes multi-résistantes (*S. aureus, E. coli*, *P. aeruginosa* et *E. faecium*). L'extrait de population Nefza a montré les diamètres d'inhibition les plus élevés qui varient entre 15 et 11mm, ce qui traduit la présence un effet antibactérien contre les quatre souches testées. Les molécules actives responsables de l'activité antibactérienne peuvent êtres l'objet d'une alternative des antibiotiques.

Références

[1] Abdellatif F., Boudjella H., Zitouni A., Hassani A. 2014. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil from leaves of Algerian *Melissa officinalis* L.. Excli journal. 13, 772-781. DOI : 10.17877/DE290R-6927

[2] Adimi L. Z. 2018. Contribution à l'étude des effets antimicrobiens et antioxydants d'une plante médicinale : la mélisse (*Melissa officinalis*). Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas, Sétif 1.

[3] Al-Dhabi N. A., Ponmurugan K., Jeganathan P. M. 2017. Development and validation of ultrasound-assisted solid-liquid extraction of phenolic compounds from waste spent coffee grounds. Ultrasonics sonochemistry, 34, 206-213. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.05.005

[4] Ben Brahim N. E. M., Chaabane A., Toumi L., Sebei H. 2014. Les plantes rares de la Tunisie septentrionale et centrale. Annales de l'INRAT, 87, 128. En ligne http://www.inrat.agrinet.tn/Annales/Annales-INRAT-Volume-90-2017.pdf

[5] Bounihi A. 2016. Criblage phytochimique, Étude Toxicologique et Valorisation Pharmacologique de *Melissa officinalis* et de *Mentha rotundifolia* (Lamiacées). Thèse de doctorat national. Université Mohammed V, faculté de médecine et de pharmacie, Rabat

[6] Brahmi F., Madani K., Chibane M. 2015. Impact du séchage conventionnel des feuilles de la mélisse officinale de la région de Bejaia sur la teneur en composés phénoliques et l'activité antioxydante de leur extrait méthanolique.5ème Séminaire Maghrébin sur les Sciences et les Technologies du Séchage

[7] Burt S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods a review. International journal of food microbiology. 94(3), 223-253. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022

[8] Cohen R., Grimprel E. 2013. Rationnel ou irrationnel de l'utilisation de l'azithromycine. Archives de pédiatrie, 20, 104-107. DOI: 10.1016/S0929-693X(13)71418-0

[9] Crozie A., Del Rio, D., Clifford M. N. 2010. Bioavailability of dietary flavonoids and phenolic compounds. Molecular aspects of medicine, 31(6), 446-467. DOI: 10.1016/j.mam.2010.09.007

[10] Dastmalc K., Dorman, H. D. Oinonen, P. P. Darwis Y. Laakso I., Hiltunen R. 2008. Chemical composition and in vitro antioxidative activity of a lemon balm (*Melissa officinalis* L.) extract. LWT-Food Science and Technology 41(3): 391-400. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.03.007

[11] Delespaul Q., de Billerbeck V. G., Roques C. G., Michel G., Marquier-Viñuales C., Bessière, J. M. 2000. The antifungal activity of essential oils as determined by different screening methods. Journal of essential oil research, 12(2), 256-266. DOI:10.1080/10412905.2000.9699510

[12] Ebadollahi A., AshrafiParchin R., Farjaminezhad M. 2016. Phytochemistry, toxicity and feeding inhibitory activity of *Melissa officinalis* L. essential oil against a cosmopolitan insectpest;Tribolium castaneum Herbst. Toxin Reviews, 35(3-4), 77-82. DOI: 10.1080/15569543.2016.1199572

[13] Gargouri S. 2003. Evaluation de l'incidence de la pourriture du pied du blé et de la structure des populations des espèces de *Fusarium* associées à la maladie, Thèse en Biologie végétale, Faculté des sciences de Tunis, Tunis, Tunisie.

[14] Garnero P., Sornay Rendu E., Claustrat B., Delmas P. D. 2000. Biochemical markers of bone turnover, endogenous hormones and the risk of fractures in post menopausal women: the ofely study. Journal of Bone and Mineral Research, 15(8), 1526-1536. DOI:10.1016/b978-012369443-0/50034-x

[15] Hassan R.A., Abotaleb S., Hamed H., Eldeen, M. 2019. Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Melissa officinalis* L. (Lemon Balm) Extracts. Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology. 10(9), 183-187. DOI: 10.21608/jacb.2019.56823

[16] Herodež Š., Hadolin S., Škerget M., Knez Ž. 2003. Solvent extraction study of antioxidants from Balm (*Melissa officinalis* L.) leaves. Food chemistry, 80(2), 275-282. DOI :10.1016/s0308-8146(02)00382-5

[17] Iserin P., Masson M., Restellini J. P. 2007. Encyclopédie des plantes médicinales. (Eds.). France: Larousse.

[18] Iwalewa E. O., Suleiman M. M., Mdee L. K., Eloff, J. N. 2009. Antifungal and antibacterial activities of different extracts of *Harungana madagascariensis* stem bark. Pharmaceutical biology. 47(9), 878-885. DOI: 10.1080/13880200903029316

[19] Jafari-Sales A., Hossein-Nezhad, P. 2020. Antimicrobial effects of *Rosmarinus officinalis* methanolic extract on *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* in laboratory conditions. Journal of Medicinal and Chemical Sciences. 3(2), 103-108. DOI: 10.26655/JMCHEMSCI.2020.2.2

[20] Kalemba D. A. A. K., Kunicka A. 2003. Antibacterial and antifungal properties of essential oils. Current medicinal chemistry. 10(10), 813-829. DOI: 10.2174/0929867033457719

[21] Kato-Noguchi H., Ino T. 2001. Assessment of allelopathic potential of root exudate of rice seedlings. Biologia Plantarum 44(4): 635-638. DOI :10.1023/A:1013731828945

[22] Ponce A. G., Fritz R., Del Valle C., Roura S. I. 2003. Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. LWT- Food Science and Technology, 36(7), 679-684. DOI : 10.1016/S0023-6438(03)00088-4

[23] Poole K. 2001. Multidrug efflux pumps and antimicrobial resistance in Pseudomonas aeruginosa and related organisms. Journal of molecular microbiology and biotechnology. 3(2), 255-264. En ligne : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11321581

[24] Regnault-Roger C., Vincent C., Arnason J. T. 2012. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. Annual review of entomology. 57. DOI: 10.1146/annurev-ento-120710-100554

[25] Rongai D., Milano F., Sciò, E. 2012. Inhibitory effect of plant extracts on conidial germination of the phytopathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. 12(3), 1693-1698. DOI: 10.4236/ajps.2012.312207

[26] Shakeri A., Sahebkar A., Javadi, B. 2016. *Melissa officinalis* L. A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. Journal of ethnopharmacology, 188, 204-228. DOI: 10.1016/j.jep.2016.05.010.

[27] Zhishen J., Mengcheng T., Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food chemistry, 64(4), 555-559. DOI: 10.1016/S0308-8146(98)00102-2

Vodounnon Totin K. Marius
Crises agricoles et rôles des collectivités locales dans la sécurité alimentaire au Bénin
Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,
Vol. (vii), No.1, Mars 2022, pp. 90-100
ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access
www.jiste.org
Scientific Press International Limited
Received: 27 February 2022 / Revised: 15 March 2022 / Accepted: March 2022 / Published: March 2022

Crises agricoles et rôles des collectivités locales dans la sécurité alimentaire au Bénini

Vodounnon Totin K. Marius[1]

[1.] Université d'Abomey-Calavi Faculté des Sciences Humaines et Sociales – (FASHS-Adjarra),

Résumé

Dans les options de développement des nations, la souveraineté alimentaire est pensée comme un des premiers piliers du bien-être des communautés. Elle fait donc l'objet d'attention de tous les gouvernants et devient un domaine privilégié de l'action publique étatique. Depuis une dizaine d'années au Bénin, le monde rural est en crise avec une production agricole peu reluisante et une situation de raréfaction des denrées alimentaires. Dans ce contexte, comment la définition des stratégies territorialisées de développement rural contribuerait à lutter efficacement contre l'insécurité alimentaire dans les localités du Bénin ? Il s'agit, à partir d'une combinaison d'approches théoriques centrées sur les politiques publiques agricoles locales, d'analyser la part contributive des entités territoriales décentralisées dans l'optimisation des enjeux de sécurité alimentaire au Bénin. L'approche méthodologique empruntée prend appui sur une revue de littérature relative à la situation nutritionnelle et alimentaire au Bénin, et sur des observations de contexte. A cela s'associent des entretiens réalisés auprès de 194 acteurs sélectionnés dans dix-huit communes rurales. Au terme de l'analyse des données, il se révèle que les mutations socioéconomiques en cours et la déstructuration du finage engendrent une crise agricole aux conséquences perceptibles. L'appréciation du profil nutritionnel d'anciennes régions agricoles du Bénin renseigne sur les nouveaux enjeux agricoles et reprécise le rôle des collectivités locales dans la mise en œuvre des politiques publiques agricoles. L'atténuation des effets de la crise alimentaire passe par des stratégies agricoles communales soutenables

Mots clés : Agriculture – crises - sécurité alimentaire – collectivités territoriales - Bénin.

Agricultural crises and the roles of local communities in food security in Benin

Abstract:

In the options for the development of nations, food sovereignty is thought of as one of the first pillars of community well-being. It is therefore the focus of attention of all governments and becomes a privileged area of state public action. For ten years in Benin, the rural world has been in crisis with lackluster agricultural production and a situation of scarcity of foodstuffs. In this context, how would the definition of territorialized rural development strategies contribute to effectively combating food insecurity in the localities of Benin? It is, from a combination of theoretical approaches centered on local agricultural public policies, to analyze the contribution of decentralized territorial entities in the optimization of food security issues in Benin. The methodological approach adopted is based on a literature review relating to the nutritional and food situation in Benin, and on observations of the context. This is combined with interviews carried out with 194 actors selected in eighteen rural municipalities. At the end of the analysis of the data, it appears that the socio-economic changes in progress and the destructuring of the finage generate an agricultural crisis with perceptible consequences. The assessment of the nutritional profile of former agricultural regions of Benin provides information on new agricultural issues and clarifies the role of local communities in the implementation of public agricultural policies. Mitigating the effects of the food crisis requires sustainable communal agricultural strategies.

Key Words*:* Agriculture – crises - food security – local authorities - Benin.

[1] Corresponding author: kmariuso@yahoo.fr

INTRODUCTION

Aujourd'hui, en Afrique, la faim est un problème plus fréquent et plus persistant que dans tout autre continent. Une forte proportion de la population africaine est de plus en plus exposée à de graves pénuries alimentaires, à une insécurité alimentaire chronique, qui ont un effet dévastateur sur la société tout entière (A. Bonfiglioli, 2007 p.15). Au Bénin, malgré une augmentation de croissance soutenue depuis 2012 autour de 5,5% en moyenne, la pauvreté monétaire ne recule pas. Les progrès en termes de réduction de la pauvreté non monétaire ne sont pas encore suffisants pour marquer ces dernières années, une évolution forte de l'Indice de Développement Humain (IDH) (PNUD, 2015). En effet, avec un revenu de 820 dollars US, le pays fait partie des pays les plus pauvres du monde selon la Banque Mondiale (2018). Son IDH est faible et est estimé à 0,48 en 2014; ce qui le classe à la 167ème place sur 188 pays évalués par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD, 2016). Dans les zones rurales, l'incidence de la pauvreté est plus élevée (42%) que dans les zones urbaines (32%). La proportion de la population béninoise qui est « multi dimensionnellement » pauvre est estimée à 59,7 % traduisant que près de six (06) béninois sur dix (10) souffrent de pauvreté multidimensionnelle ; et qu'une personne pauvre souffre en moyenne de privations dans 50,9 % des aspects couverts. Chaque personne dans le cas, n'arrive pas à satisfaire en moyenne la moitié des besoins essentiels (50,9 %) parmi les dix considérés. En liaison avec le degré de privation et l'indice de pauvreté multidimensionnelle, les régions agricoles au Bénin sont celles où la pauvreté est plus prononcée, en termes d'incidence et de privations. Les Chefs d'États et de Gouvernements ont donc fait de l'élimination de la faim l'un des Objectifs du « Programme de développement durable à l'horizon 2030 », grâce à l'Objectif de Développement Durable (ODD) n°2 Eliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir une agriculture durable. Elle devient un domaine privilégié de l'action publique étatique. La notion de souveraineté alimentaire pourrait être le pilier d'une politique publique globale de sécurité alimentaire. Elle repose sur la reconnaissance, pour chaque État, du droit à se donner les moyens de produire, sa propre nourriture aux conditions qu'il choisit en toute autonomie, et ce, à travers les politiques agricoles qui lui semblent les mieux adaptées pour garantir la sécurité alimentaire (Said Alahyane, 2017 p.167).
En dépit de la multiplicité et de la diversité des programmes mis en place dans le cadre des politiques agricoles nationales pour l'atteinte de cet objectif, la sécurité alimentaire dans les pays en développement est loin d'être garantie. Des facteurs multiples et interdépendants sont à l'origine de ce problème.
L'insécurité alimentaire et nutritionnelle constitue actuellement l'une des problématiques majeures de développement au Bénin. D'après l'étude sur l'analyse globale de la vulnérabilité et de la sécurité alimentaire réalisée en 2013 au Bénin, les causes de cette insécurité alimentaire des ménages sont : la pauvreté et les difficultés d'accès économiques aux marchés, la dépendance des marchés et la hausse des prix des produits alimentaires, une agriculture de subsistance peu productive et les perturbations climatiques aux conséquences non négligeables. Selon (PAM, 2017) moins de la moitié des ménages (47,5 %) sont en sécurité alimentaire, environ 5,4 millions sur une population totale estimée à 11,3 millions de personnes. Parmi les ménages restants, 42,9 % sont en sécurité alimentaire limité, c'est-à-dire à risque d'insécurité alimentaire, et 9,6%, soit 1,09 million de personnes, sont en insécurité alimentaire globale (modérée 8,9 % et sévère 0,7 %). En 2013, les départements du Couffo, du Mono et de l'Atacora étaient les plus affectés par l'insécurité alimentaire, avec respectivement 29 %, 28 % et 25 % des ménages concernés (PAM, 2014a). Cette situation est pareille à celle de 2008 où ces trois départements étaient déjà les plus touchés, avec respectivement 27 %, 33 % et 29 % des ménages vivant en insécurité alimentaire (PAM, 2009). En 2017, les départements de l'Atacora (24 % des ménages touchés) et du Couffo (16 %) font toujours partie des plus affectés sur le plan alimentaire. S'y ajoutent le département des Collines où la prévalence de l'insécurité alimentaire aurait fortement augmenté, passant de 7 % en 2013 à 15 % en 2017 et celui du Zou avec 12 % de ménages affectés en 2017 contre 10 % en 2013 (PAM, 2017). Dans les communes les plus touchées en 2013, l'insécurité alimentaire affecte plus d'un ménage sur trois. Il s'agit des communes de Covè (39 %), Klouékanmè (34 %), Toviklin (3 %), Lalo (35 %), Bopa (40 %) et Houéyogbe (34 %) au Sud du Bénin ; des communes de Karimama (39 %), Cobly (36 %), Matéri (35 %), Tanguiéta (38 %), Toucountouna (37 %), Boukoumbé (43 %) et N'dali (35 %) dans le Nord du pays. D'après l'AGVSA 2017, la prévalence de l'insécurité alimentaire a diminué dans les communes de Toviklin (22 %), Cobly (21 %), Matéri (25 %), Tanguiéta (27 %) et Toucountouna (30 %), mais a augmenté à Boukoumbé (46 %) (PAM, 2017). Ces communes demeurent parmi les plus affectés sur le plan alimentaire, comme en 2013. S'y ajoutent les communes de Natitingou (28 %), Glazoué (26 %), Djidja (22 %) et Savè (25 %) (PAM, 2017). La transformation à opérer pour parvenir à une agriculture durable pose un défi majeur. Il faudra apporter des changements sans compromettre la capacité des secteurs de l'agriculture (culture, élevage, pêche et foresterie) à répondre aux besoins alimentaires de la planète. Ainsi, les politiques agricoles constituent

un facteur important du développement d'une nation. C'est la raison pour laquelle, elles occupent une place de choix dans les stratégies nationales de développement. Aujourd'hui, la souveraineté alimentaire est au centre de nombreux débats publics (Kinhou, Viwagbo, 2019, p.1)

De 1960 au début des années 1980, la plupart des pays d'ASS dont le Bénin ont fondé leur politique de développement agricole et rural sur une intervention accrue de l'État. Les États avaient la responsabilité de mettre en place des politiques volontaristes et ambitieuses pour parvenir à l'autosuffisance alimentaire. Pour y arriver, ils instauraient une forte protection aux frontières et des prix internes très élevés afin d'encourager la production nationale. L'intervention publique visait à influencer les prix à la production et les prix des facteurs de production tout en fournissant des services de base (crédit agricole, intrant agricole, informations techniques et informations sur le marché, infrastructures de commercialisation et de distribution) au secteur agricole » (Ngalamulume Tshiebue, 2011). Depuis une dizaine d'années au Bénin, les mutations sociodémographiques et les transformations structurelles ne cessent d'impacter toutes les composantes agricoles. On assiste à une crise du monde rural avec un secteur productif agricole caractérisé par la prépondérance de petites exploitations agricoles ; une vulnérabilité (soumission aux mutations climatiques) ; une production agricole peu proportionnelle et une situation de raréfaction des denrées alimentaires

Face à cette crise et aux mutations agricoles en cours, la sécurité alimentaire devient un impératif pour l'Etat et surtout les politiques publiques locales.

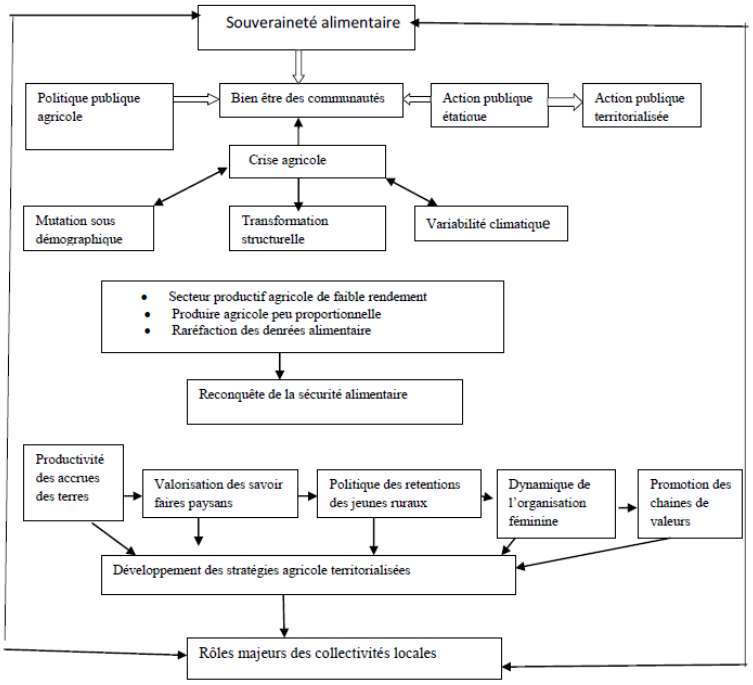
Dans cette perspective, il convient de se demander comment la redéfinition des stratégies territorialisées de développement rural contribuerait à lutter efficacement contre l'insécurité alimentaire dans les localités du Bénin ? De façon globale, il est question, à partir d'une combinaison d'approches théoriques centrées sur les politiques publiques agricoles locales, d'analyser la part contributive des entités territoriales décentralisées dans l'optimisation des enjeux de sécurité alimentaire au Bénin. Spécifiquement, il s'agit de cerner la problématique des écarts de rendements agricoles au Bénin et de justifier le rôle des collectivités locales dans la reconquête de la sécurité alimentaire au Bénin.

Pour cela, il a été suivi une démarche méthodologique qui a permis d'aboutir à des résultats concluants discutés à la lumière des auteurs convoqués.

Conceptualisation- Méthodes – Matériels et modèle d'analyse

Cadre conceptuel du travail

Le schéma ci-dessous donne un aperçu de la mise en perspective théorique de la problématique. Il éclaire par-delà sur les corrélations inter variables.



METHODES ET MATERIELS

La problématique de la présente recherche relève de l'espace social où s'opèrent les interactions entre institutions et acteurs. L'enquête intensive de terrain est particulièrement adaptée à cette recherche. Il a été donc choisi une approche quantitative basée sur l'analyse statistique pour apprécier tous les aspects de la problématique.

La base de sondage est composée de diverses catégories socioprofessionnelles. Ces catégories sont constituées d'acteurs à divers niveaux qui sont en interactions directement ou non avec le monde agricole. Il s'agit : des producteurs et exploitants agricoles, des ménages agricoles, des encadreurs ruraux et des cadres des Mairies. Le tableau I renseigne sur la répartition de ces acteurs par commune.

Tableau I : Répartition statistique des acteurs par commune

Départements	Communes	Acteurs de la paysannerie			Acteurs institutionnels	
		Producteurs agricoles	Exploitants agricoles (commerçants des produits agricoles)	Ménages	Encadreurs ruraux	Cadres des Mairies
Alibori	Kandi	2	2	3	2	2
	Banikoara	2	2	3	2	2
Atacora	Matéri	2	2	3	2	2
Atlantique	Zè	2	2	3	2	2
	Toffo	2	2	3	2	2
Borgou	**N'dali**	**2**	**2**	**3**	**2**	**2**
Collines	Glazoué	2	2	3	2	2
Couffo	Aplahoué	2	2	3	2	2
	Lalo	2	2	3	2	2
Donga	Djougou	2	2	3	2	2
Littoral	**Cotonou**	**Néant**	**Néant**	**7**	**Néant**	**Néant**
Mono	Athiémé	2	2	3	2	2
Ouémé	**Dangbo**	**2**	**2**	**3**	**2**	**2**
	Bonou	**2**	**2**	**3**	**2**	**2**
Plateau	Pobè	2	2	3	2	2
	Adja-Ouèrè	2	2	3	2	2
Zou	Agbabgnizoun	2	2	3	2	2
	Djidja	2	2		2	2
Total	**18**	**34**	**34**	**58**	**34**	**34**
Totaux		**194**				

Sources : enquêtes de terrain, 2021

Les crises agricoles constituent une menace majeure à la sécurité alimentaire. La situation de sécurité alimentaire et nutritionnelle d'un ménage ou d'une personne est généralement le résultat de l'interaction d'un vaste éventail de facteurs agronomiques, environnementaux, socio-économiques et biologiques. La sécurité alimentaire et nutritionnelle existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive, leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active (FAO, 1996). Pour appréhender la part contributive des entités territoriales décentralisées dans l'optimisation des enjeux de sécurité alimentaire au Bénin, diverses données ont été collectées sur le terrain. Les outils utilisés pour la collecte des données de terrain sont entre autres, un guide d'entretien qui est destiné aux agents des Agences Territoriales de Développement Agricoles, des communes, et aux cadres des Mairies et un questionnaire qui est adressé directement aux producteurs et exploitants agricoles, et aux ménages agricoles qui sont les acteurs principaux visés par la présente recherche. Pour mieux comprendre les stratégies territorialisées de développement rural mises en place, la démarche a combiné des entretiens individuels et des observations directes sur le terrain. La recherche bibliographique et la collecte de données secondaires se sont déroulées durant toute la période de l'étude auprès de divers acteurs et institutions. Des données sur le cadre programmatique et les interventions en matière de sécurité alimentaire au Bénin ont été aussi mobilisées. Les observations sont réalisées tout au long de la collecte des données de terrain et ont permis de vivre en conditions réelles les manifestations des crises agricoles, les rôles que les collectivités territoriales jouent dans l'optimisation de la sécurité alimentaire au Bénin et les actions mises en œuvre.

Analyse des données collectées

Plusieurs méthodes des sciences humaines et sociales ont été utilisées dans le cadre de cette étude pour mieux appréhender la part contributive des entités territoriales décentralisées dans l'optimisation des enjeux de sécurité alimentaire au Bénin. Les différents entretiens individuels et collectifs de terrain ont permis de mobiliser diverses informations qualitatives qui ont servi à l'analyse du discours (Angermüller *et al.,* 2008). Cette méthode d'analyse des données qualitatives constitue une démarche empirique pluridisciplinaire très efficace des sciences humaines et sociales (Keller, 2007 ; Angermüller *et al.,* 2008). Pour ne pas s'en tenir uniquement à ce que les acteurs disent et du fait que leurs propos ne correspondent pas systématiquement à la réalité, l'étude a privilégié la confrontation systématique des « propos » et des « faits », au travers des observations de terrain, car l'observation constitue une question pratique, méthodologique et théorique qui ne peut être contournée dans le champ d'analyse des sciences humaines et sociales (Bonnemain *et al.,* 2015).

La méthode inductive a été mise à contribution pour mieux expliquer le rôle des entités territoriales décentralisées dans l'optimisation des enjeux de sécurité alimentaire au Bénin. Elle est utilisée dans cette étude pour mieux appréhender les interactions, car partant des différentes observations de terrain, l'approche inductive en reconstruit la cohérence interprétative des faits de l'intérieur (Balslev et Saada-Robert, 2002). Des analyses de données quantitatives ont été aussi effectuées au niveau national avec des désagrégations par département (statistique descriptive). Pour chaque type de données, l'effort analytique a consisté à établir, dans la mesure du possible, la relation avec la situation de sécurité alimentaire en rapport avec la demande et l'évolution de la démogrphie. Ainsi, différents paramètres ont été pris en compte pour expliciter les variables explicatives de la crise de la crise agricole. Par ailleurs, la question des collectivités locales comme éléments de réponse et d'anticipation sur la crise agricole a été abordée.

RESULTATS

L'agriculture est le moteur de l'économie donc le socle pour le développement de la plupart des pays africains qui, dans leur majorité, comptent plus de 75% de populations rurales (Yabi, et al., 2012). Le secteur agricole au Bénin se caractérise par une faible productivité (MAEP, 2011). Les rendements observés au Bénin, à l'instar des pays en Afrique au Sud du Sahara, atteignent à peine le tiers du rendement maximum atteignable pour les différentes cultures (Calzadilla et al., 2009). Son régime alimentaire est basé sur les céréales (maïs, riz, mil, sorgho), les racines et tubercules (manioc, igname) et les légumineuses (soja, niébé). Les niveaux de production des principales productions de céréales, de tubercules et racines couvrent globalement les besoins alimentaires, mais restent encore largement en dessous des potentialités offertes par les conditions agroécologiques du Bénin. La disponibilité de ces denrées dépend de leur offre au niveau national. Les céréales sont les principales spéculations de la production vivrière et occupent la plus grande superficie cultivée.

De 2002 à 2012, l'accroissement de la production alimentaire par tête d'habitant est en hausse de 1,6 %, en dessous du taux de croissance démographique (3,5 %) enregistré sur la même période (PNUD, 2015). Au cours de la période 2003-2013, elles couvraient 49,5 % des superficies emblavées. Les racines et tubercules, les légumineuses, les cultures industrielles et les cultures maraîchères viennent respectivement avec 20,3 %, 15,5 %, 11,5 % et 3,2 % des superficies cultivées (PNUD, 2015). De 2011 à 2015, le PIB du secteur agricole (agriculture, élevage et pêche) a connu en moyenne une croissance d'environ 5,6%. Selon (MAEP, 2017b), la production agricole dans son ensemble a connu un accroissement de 13,20 % au cours de la campagne 2016-2017 par rapport à celle de 2015- 2016. Cette augmentation est due aux mesures incitatives prises par le Gouvernement en faveur des producteurs en vue de l'autosuffisance alimentaire et aux conditions pluviométriques favorables. Au cours de la campagne agricole 2016-2017, la production totale de céréales s'élevait à 1 814 289 tonnes contre 1 643 227 tonnes pour la campagne 2015-2016 (MAEP, 2017a), soit un accroissement de 10,44 %. En ce qui concerne la production vivrière au Bénin en 2018, elle est présentée dans le tableau II ci-après :

Tableau II : Production vivrière au Bénin en 2018

Filières	2008	2018
Manioc	3611213	3,8 millions de tonnes
Igname	2529718	2,7 millions de tonnes
Maïs	978063	1,5 million de tonnes
Coton	210604	758 000 tonnes
Riz	109371	459 000 tonnes
Ananas	134966	372 mille tonnes
Sorgho	142016	319 000 tonnes
Tomate	184526	253 000 tonnes
Arachide	136796	225 000 tonnes
Soja	32466	221 mille tonnes

Départements	Communes	Produits agricoles (en tonne en 2008)					En 2018
		Maïs	Sorgho	Arachides	Tomates	Manioc	La culture de base est considérée par localité dans ce cas
Alibori	Kandi	38125	5116	4283	0	785	
	Banikoara	10365	5065	1304	134	255	
Atacora	Matéri	10365	5065	1304	2072	255	
Atlantique	Zè	33925	0	411	2072	149022	
	Toffo	23731	0	203	16631	208446	
Borgou	**N'dali**	**8921**	**1399**	**721**	**0**	**15096**	
Collines	Glazoué	25876	560	8152	2871	74196	
Couffo	Aplahoué	14201	0	1789	1722	28875	
	Lalo	7352	0	160	2057	29321	
Donga	Djougou	9281	4367	1904	2250	32500	
Mono	Athiémé	4678	0	14	575	24000	
Ouémé	**Dangbo**	**5922**	**0**	**159**	**0**	**23346**	
	Bonou	**8386**	**0**	**233**	**0**	**11103**	
Plateau	Pobè	4062	0	55	0	91047	
	Adja-Ouèrè	26835	0	151	0	110246	
Zou	Agbabgnizoun	2142	51	979	167	9965	
	Djidja	8243	513	4576	2314	30717	

Les données statistiques inscrites dans le présent tableau laissent appréhender une tendance descendante ou régressive en termes de rendement agricole issu de la production vivrière au Bénin sur dix ans (2008-2018). D'une estimation de 9995739 tonnes en 2008, le rendement agricole de la production vivrière au niveau des communes identifiées dans la présente recherche est passé à 8382002 tonnes nonobstant les différentes politiques d'amélioration de la production au cours des dix dernières années. Même si il est noté une évolution positive au niveau de certaines filières en 2018 à savoir : le riz, l'ananas, le sorgho, la tomate et l'arachide, le rendement agricole reste insignifiant au regard de la demande de plus en plus prononcée au sein des ménages. Il se révèle une corrélation entre la sécurité alimentaire et les perspectives démographiques en ce qu'on note une inadéquation entre la demande et l'offre alimentaire qui visiblement, se traduit par la cherté des denrées alimentaires. Cependant, les seuls aspects démographiques ne sauraient expliquer l'insécurité alimentaire mais des facteurs de contingence surtout lorsque l'on met en exergue des cadres structuro- organisationnels de mise en œuvre des politiques publiques agricoles.

Facteurs explicatifs de la baisse des rendements agricoles

Il est observé aujourd'hui de très grandes disparités entre les productions agricoles. Au Bénin, malgré l'existence d'initiatives d'appui à l'entrepreneuriat rural, le professionnalisme agricole peine à être promu. Cette situation s'explique par plusieurs facteurs qui constituent des tendances lourdes à l'accroissement des rendements agricoles. Selon Petit (2011), un facteur explicatif de la faible hausse des rendements en Afrique subsaharienne est l'abondance relative de la terre et du travail. Les analyses effectuées sur la base des résultats d'investigations faites auprès des acteurs du secteur agricole béninois, révèlent l'existence de différents facteurs (tableau III) qui expliquent la baisse des rendements agricoles.

Tableau III : Récapitulatif des facteurs explicatifs de la baisse du rendement agricole au Bénin

Stade	Contraintes
Techniques agricoles	utilisation des outils traditionnels ou Équipements inadéquats, Faiblesse de la mécanisation, utilisation des semences non améliorées, faible disponibilité et utilisation des semences améliorées des cultures
Préparation du sol	Pénibilité du sarclage, Faible maîtrise de la technique d'utilisation des herbicides, la non maîtrise de l'eau, insuffisance des aménagements hydroagricoles et ceux existants sont faiblement valorisés
Crédit agricole	absence quasi-totale de financement des activités de production, Crédit inexistant, Crédit insuffisant, Taux d'intérêt élevé, insuffisance de garantie ou de sûretés réelles suffisamment fiables à présenter par les producteurs agricoles pour l'accès aux crédits ;
Conduite de la culture	Encadrement inexistant, faible niveau d'encadrement des producteurs, pratique de l'agriculture de subsistance
Main-d'œuvre	Exode rural, Main-d'œuvre peu disponible, peu qualifiée et chère.
Facteurs de production	Difficultés d'approvisionnement en matières premières, faible approvisionnement et distribution des intrants agricoles de qualité (engrais spécifiques et produits phytosanitaires), coût élevé des intrants agricoles, mauvaise qualité des semences, sol dégradé, accès limité à la terre, vente ou mise en location de terres fertiles.
Récolte	Pénibilité de la récolte de, attaques d'oiseaux et de rongeurs, encadrement insuffisant ou inexistant, activité non mécanisée
stockage	insuffisance des infrastructures de stockage et de conservation et la faible organisation pour la gestion des infrastructures existantes,
Transformation	faible transformation des productions agricoles (végétaux, animaux, halieutiques, …) ;
Commercialisation	fluctuation du prix des matières premières et leur pénurie par moment ; variations non maîtrisées du prix des produits agricoles et denrées alimentaires ; faible praticabilité des axes routiers doublée par endroit des tracasseries routières; faible organisation de la commercialisation/marchés ;
Organisation des filières agricoles	Inorganisation des producteurs, mauvaise organisation des producteurs, faible organisation des OPA et persistance par endroit de problèmes de gouvernance : intérêts égoïstes et les conflits de leadership entre membres des OPA faîtières ; insuffisance de planification, de suivi, d'information et de statistiques sur les marchés et la gestion durable des filières
Contraintes climatiques	Démarrage tardif de la pluie, champs inondés, greniers et produits récoltés détruits, accès difficile aux champs, poches de sécheresse en saisons pluvieuses, démarrage précoce de la petite saison pluvieuse, mauvaise répartition spatiale de la pluie, fin précoce des saisons pluvieuses, hausse de la température journalière, fortes pluies, vents violents, baisse de rendement, appauvrissement des sols, déficits hydriques pour les cultures, capacités d'adaptation encore faibles des acteurs à la base des filières agricoles face aux effets de changement climatique ;
Politiques agricoles	Faiblesse des Plan du Développement Communale

Source : données de terrain, 2021

Environ 870 millions de personnes, soit 12 % de la population mondiale proportion qui monte à 27 % en Afrique subsaharienne sont aujourd'hui sous-alimentées (FAO 2012a). Or, selon les estimations, il est prévu un fort accroissement de la demande en raison de l'expansion démographique et de l'évolution des régimes alimentaires, liée à la progression des niveaux de vie et à l'urbanisation.

Ces inquiétudes sont accentuées par plusieurs facteurs, dont la prise de conscience de la raréfaction des ressources naturelles notamment le foncier, les effets controverses des mutations climatiques sur la production agricole, les techniques agricoles peu commodes, les dommages causés aux écosystèmes par les excès de l'agriculture intensive, le déficit de financement de l'agriculture, le rôle peu visible des collectivités locales en tant qu'acteurs relais ainsi que la faible disponibilité des facteurs de productions. Selon le Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA) 2025 et le Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle PNIASAN 2017-2021, malgré la prédominance de l'agriculture de type familial, des entreprises agricoles modernes sont de plus en plus présentes dans le secteur agricole. Mais ces initiatives sont toujours peu nombreuses pour combler les déficits en besoins alimentaires enregistrés. Les efforts conjugués en investissements par le gouvernement et les structures d'appui techniques, des besoins en infrastructures et équipements de base (mécanisation, maîtrise de l'eau, dessertes rurales, etc.) ne sont toujours pas couverts. Des besoins croissant de crédits pour des investissements agricoles à moyen et long termes demeurent problématiques malgré les actions engagées (Caisse mutuelle, IMF, Banques, AMAB,..) et dont certaines attendent d'être opérationnalisées (FADeC agriculture, FNDA). Même les mesures d'accompagnement et les réformes sont insuffisantes ou mal appliquées. La forte hausse et l'amplification de la volatilité des prix de la plupart des produits agricoles depuis le milieu des années 2000 avivent encore les craintes (Westhoff 2013). Même les mesures d'accompagnement et les réformes sont insuffisantes ou mal appliquées.

Eléments de prospective agricole

La croissance soutenue et substantielle du secteur agricole a été très souvent le levier crucial de la lutte contre la pauvreté dans la plupart des régions du monde. Malheureusement, au cours des cinq dernières décennies l'agriculture africaine n'a pas atteint le niveau de développement suffisant pour assurer le bien-être des petits producteurs et couvrir les besoins d'une population grandissante. En conséquence, le Continent compte encore non seulement sur l'aide alimentaire, mais aussi importe plus de 50 milliards de dollars de produits alimentaires par an (UNCTAD, 2015) cité par (Maurice Tankou 2017, pp.83-84). L'Afrique peine à nourrir sa population. A l'échelle de la planète, la productivité par habitant augmente de façon continue sauf en Afrique où la productivité est très basse. En théorie, elle a les moyens de s'en sortir, elle dispose de terres, d'eau et de main d'œuvre. Cependant, selon Parmentier (2007 p. 238), divers facteurs empêchent l'Afrique de décoller : la croissance de la population, l'instabilité politique et économique, le déficit de technologies et de capitaux et l'impossibilité de s'organiser en dehors du système de la concurrence mondiale et de développer une agriculture adaptée.

Pour répondre aux besoins actuels et futurs des populations en crise de productivité, une stratégie adéquate doit être mise en place. Elle doit reposer sur des stratégies et actions pertinentes pour affronter divers enjeux et chocs économiques et sociaux, notamment ceux de l'alimentation. Selon le rapport « La reconquête de la souveraineté alimentaire en Afrique » publié par la Fondation Jean-Jaurès en septembre 2021, « cinq tendances lourdes » ont été identifiées et devraient « marquer la trajectoire de l'agriculture » en Afrique.

Tout d'abord, l'agriculture doit se baser principalement sur les communautés rurales comprenant les paysans. Ces derniers joueront en effet « un rôle crucial » dans la sensibilisation et l'intégration de la jeunesse rurale dans les métiers de l'agriculture. Ensuite, l'autonomisation des femmes en milieu rural, qui est déjà en marche, deviendra « l'un des principaux vecteurs du changement » grâce à l'insertion professionnelle de celles-ci et à la valorisation de leur travail. Le secteur agricole sera aussi dépendant de « l'essor des villes », afin de s'inscrire dans des « aires alimentaires métropolisées ». Grâce à cela, les agriculteurs pourront s'adapter aux changements, en ayant recours à des techniques plus industrialisées et plus innovantes, développées en milieu urbain. Enfin, l'intégration régionale sera toujours nécessaire pour favoriser le développement du continent dans sa globalité. L'auteur propose de mettre en place un système de programmation et de gestion servant à assurer la coordination des différents niveaux par les acteurs de la filière réunis sur une base participative, notamment avec les groupements de producteurs (figure 1)

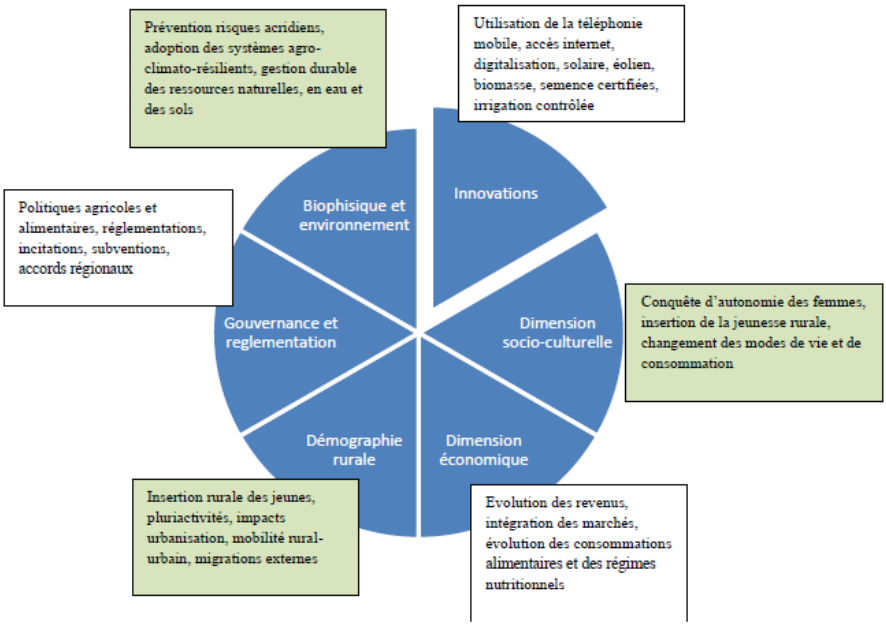


Figure1 : les facteurs de transformation des systèmes agro-alimentaires - **Source :** Pierre Jacquemot, 2021.

Le secteur agricole béninois enregistre certes une autosuffisance alimentaire appréciable pour certaines spéculations (maïs, manioc, igname, …) ; mais la productivité agricole est encore insuffisante pour tirer le meilleur du potentiel national. L'augmentation de la production alimentaire est moins le résultat de la hausse des rendements agricoles que de l'expansion des terres cultivées. Ainsi, la question de la sécurité alimentaire est préoccupante du fait de l'existence de poches d'insécurité alimentaire grave au niveau de certains groupes à risques, notamment les petits exploitants agricoles du Sud, les populations de pêcheurs, et les familles à faible revenu dans les zones urbaines.

La protection des moyens d'existence agricoles et donc la sécurité alimentaire et nutritionnelle, passe par la réduction de l'influence des facteurs des risques sous-jacents qui affectent le secteur. Un élément important est à prendre en compte pour analyser la situation alimentaire future du pays. Il s'agit des effets des changements climatiques. les effets néfastes de ce phénomène sont ressentis par les producteurs au Bénin à travers le démarrage tardif de la pluie, les champs inondés, l'accès difficile aux champs, les poches de sécheresse en saisons pluvieuses, le démarrage précoce de la petite saison pluvieuse , la mauvaise répartition spatiale de la pluie, la fin précoce des saisons pluvieuses, la hausse de la température journalière, les fortes pluies, les vents violents, l'appauvrissement des sols et les déficits hydriques pour les cultures. L'impact négatif des aléas naturels peut être réduit, atténué ou prévenu grâce à des investissements dans des modèles durables de production alimentaire et à l'application de techniques et de pratiques agricoles appropriées qui entraînent une augmentation des rendements et accroissent la résilience en cas de déficit de production.

Les pouvoirs publics et les partenaires techniques et financiers du Bénin sont invités à apporter leur contribution dans l'adoption par les producteurs des stratégies et pratiques capables de s'adapter aux effets négatifs des changements climatiques et de réduire ou d'éliminer les émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, pour parvenir à la souveraineté alimentaire dans une perspective sécurité alimentaire durable, la mise en place des mesures et de politiques climato-intelligentes et des politiques agricoles spécifique par les collectivités territoriales pourraient contribuer à faire progresser les rendements agricoles et relever le défi de la sécurité alimentaire dans les prochaines décennies.

Les collectivités locales au cœur des réformes agraires et de la sécurité alimentaire : approche analytique

Sur le milliard de personnes souffrant de la faim, la majorité vit en milieu rural. Les ruraux pauvres (petits paysans, ouvriers agricoles, sans-terre…) sont particulièrement vulnérables à l'insécurité alimentaire (FFSSA, 2004). Dès lors, le développement rural revêt une importance décisive pour la souveraineté alimentaire. Comme le souligne Mostafa Jari (1996), «le préalable politique essentiel du développement rural sous toutes ses formes consiste en une reconnaissance de la place et du rôle du monde rural dans l'équilibre et la cohésion de la société globale». Au cours du XIXe et du XXe siècle, les réformes agraires se sont déroulées dans des contextes politiques et économiques très divers : la poursuite du développement du capitalisme dans les campagnes au sein de dynamiques endogènes ou postcoloniales, la transition vers le socialisme ou au contraire la décollectivisation. Elles se sont inscrites selon M. Merlet 2013, p. 249) dans des projets politiques très différents, voire diamétralement opposés et se sont donné des objectifs variés :

- S'attaquer à une répartition des terres considérée comme socialement injuste, pour des raisons éthiques, mais aussi de façon pragmatique pour éviter la montée de l'insécurité et de la violence,
- Répondre aux intérêts politiques d'un groupe cherchant à consolider sa base sociale face à d'autres secteurs du même pays (enjeu électoral ou économique) ou à des forces étrangères (renforcement ou défense de la souveraineté),
- Mettre en valeur les ressources naturelles, tant au niveau écologique qu'économique, en permettant aux agriculteurs de bénéficier pleinement des fruits de leur travail, auparavant largement détournés par les propriétaires fonciers, et donc de pouvoir investir dans l'amélioration de leurs pratiques.

Selon (Jayne, 1995) cité par A. Bonfiglioli (2007, p. 20), la perspective mondiale et nationale classique, sur la sécurité alimentaire, celle qui privilégie l'offre et la disponibilité des produits alimentaires (et qui, dans les années 1980, était comme hantée par l'objectifs « de l'autosuffisance alimentaire nationale »), a progressivement été remplacée par la perspective privilégiant les ménages (ou : groupes domestiques) et les relations entre les membres au sein d'un même ménage. Dans cette perspective, l'accent est au contraire mis sur l'alimentation et l'ensemble des droits des ménages individuels, au cours des diverses phases de leur propre « cycle de développement » et sur l'évolution des stratégies locales de subsistance, et sur la façon dont les aliments sont distribués entre les différents groupes sociaux. Il est progressivement apparu en effet que les ménages, les villages et les zones agro-écologiques font partie de configurations institutionnelles beaucoup

plus complexes. Cependant, ces perspectives institutionnelles purement locales ont elles aussi leurs limites. En 2014, AGVSA trouve que le taux d'insécurité alimentaire est plus élevé dans les zones rurales (15%) que dans les zones urbaines (8%).

L'insécurité alimentaire n'est pas une question à traiter isolément. C'est pourquoi, une politique de sécurité alimentaire appropriée ne peut être que le résultat d'un ensemble de politiques visant à stimuler la production agricole, encourager une large croissance économique et réduire la vulnérabilité alimentaire des segments les plus pauvres de la société par des programmes de protection sociale spécifiques. Le succès d'une telle orientation suppose une démarche participative, impliquant un fort engagement de l'Etat, des collectivités locales, des partenaires et des acteurs de la filière. Le rôle de l'Etat est prépondérant en ce qui concerne le financement et l'organisation global du secteur (instruments et mécanismes). Quant aux collectivités locales, elles doivent intervenir dans l'encadrement, l'accompagnement et la formation des acteurs.

Les prérogatives conférées aux collectivités locales par la loi sur la décentralisation constituent un atout important, notamment en ce qui concerne le développement local au cœur duquel se trouve le secteur agricole. Elles constituent des institutions englobantes qui peuvent non seulement encourager des initiatives au niveau local d'intervention, mais aussi promouvoir les partenariats, la coordination et la mise en cohérence entre les acteurs institutionnels locaux. Les autorités locales se voient de plus en plus confier la tâche de concevoir, planifier, programmer, et exécuter des initiatives précises de développement local. Selon A. Bonfiglioli (2007, p. 8), C'est un important changement de paradigme, qui met en lumière les nouveaux problèmes auxquels se heurtent les collectivités territoriales. Des collectivités, par ailleurs, qui ne doivent plus être simplement considérées comme de simples prestataires de services sociaux, mais de plus en plus comme les promoteurs de nouvelles formes de partenariat entre le secteur public et le secteur privé pour le renforcement des capacités, le développement institutionnel et les investissements économiques. Cela pourra certainement contribuer à améliorer les modes et les moyens d'existence des ménages vivant dans la pauvreté et l'insécurité alimentaire, en accroissant leurs actifs et leurs capacités, en soutenant leurs stratégies d'existence, en ouvrant de nouvelles possibilités d'emploi et en soutenant le fonctionnement des marchés. La formation des producteurs aux pratiques protectrices de l'environnement et garantissant le développement durable constitue l'une des actions fortes à mener en vue de concilier cette exigence et celle de la sécurité alimentaire des habitants. Il s'agit d'encourager la pratique de l'agriculture biologique, afin de limiter ou d'éliminer les inconvénients des pratiques et techniques non durables.

Dans cet élan, les paysans doivent être sensibilisés et formés à l'observance des grands principes de l'agriculture biologique. A contrario, la préservation de l'équilibre de la nature, le recyclage des matières organiques naturelles, la rotation des cultures, le respect des saisons et des caractéristiques du terroir, le respect de la santé humaine et du bien-être animal doivent être encouragés. (Yao Séraphin Kouamé, 2017 p.47)

Cependant, les communes béninoises sont relativement jeunes. Elles ont commencé à fonctionner en 2003 et ne disposent pas toujours de ressources suffisantes pour financer des infrastructures et équipements à usage collectif. Elles sont impliquées dans des activités économiques locales qui ont un impact sur les moyens de subsistance à l'échelle locale, puisqu'elles fournissent des infrastructures et des services sociaux de base, collectent les impôts et réglementent l'utilisation des sols et des bâtiments. Complétant les transferts du Fonds d'Appui au Développement des Communes (FADeC) de l'État béninois, un mécanisme national de financement pour faciliter le transfert des ressources du budget national vers les communes avec les ressources mobilisées localement les collectivités locales allouent des fonds à des programmes de fourniture des services publics pour lesquels elles investissent dans des infrastructures sociocommunautaires (enseignement, santé et assainissement, construction de routes, adduction d'eau, réglementation de l'utilisation des sols, etc).. Cependant, les collectivités locales doivent aussi assumer une maîtrise d'ouvrage plus claire et explicite par rapport aux stratégies de développement local, en valorisant les potentialités environnementales et économiques, créant des liens en amont, sécurisant les modes d'existence locaux, promouvant la protection sociale, et par là réduisant la vulnérabilité aux crises alimentaires. Dans ce domaine, elles n'ont pas encore atteint le niveau d'appropriation requis pour accorder plus d'importance au secteur agricole dans les Plans de Développement Communaux (PDC) en vue de compléter les efforts du pouvoir central pour l'accompagnement et l'appui aux initiatives locales, la sécurisation et l'aménagement des terres agricoles.

CONCLUSION

L'insécurité alimentaire est aujourd'hui une réalité inéluctable mieux, une problématique aux facettes multiples au cœur des débats du développement local. De la baisse de la productivité agricole à la cherté des produits vivriers en passant par la raréfaction des denrées alimentaires et de la sous-alimentation, l'insécurité alimentaire est une conséquence de la non optimisation des politiques publiques agricoles qui se sont succédées depuis les années 60 où le libéralisme et le capitalisme sont perçus par les gouvernants comme la valeur fondamentale de la croissance économique. Encore tributaire des techniques et outils traditionnels de production, le secteur agricole béninois est caractérisé par une baisse de rendements accentuée surtout dans les filières vivrières dont les facteurs sont d'ordre technologique, socioculturel, environnemental et politique. Si l'on reconnait les efforts remarquables des différents régimes politiques dans le secteur agricole au Bénin et les résultats y découlant, le paradoxe de la cherté des produits alimentaires de premières nécessité et la disproportion offre –demande dessinent toute une autre image laissant appréhender la non optimisation des politiques publiques agricoles mises en œuvre. Cette dernière trouve son répondant dans le rapport dichotomique global-local en matière de l'élaboration et de la mise en œuvre des politiques publiques agricoles. Ainsi, il est supposé que la prise en compte du rôle des collectivités territoriales décentralisées, organisme potentiel du local dans la fabrique des politiques agricoles est indispensable au regard de leurs prérogatives dont l'exercice a un impact direct sur les questions foncières et celles liées à l'aménagement du territoire, lesquelles sont figurantes aux enjeux économiques et environnementaux majeurs. Prendre en considération les collectivités territoriales décentralisées dans l'orientation stratégique du secteur agricole reste un gain positif, une approche inclusive du développement durable en ce sens que les acteurs locaux seront de ce fait considérés comme faisant partie intégrante desdites politiques. La mobilisation et la participation sociale au niveau local, l'identification des réelles aspirations et des problèmes environnementaux liés à la production agricole seront de mise et favoriseront un cadre multi-acteurs de coproduction des stratégies et politiques du développement du secteur agricole.

Références

[1] Jacquemot Pierre, 2021, La reconquête de la souveraineté alimentaire en Afrique État des lieux et propositions, Paris, L'Harmattan, 38p.
[2] ***Jari*** Mostafa, ***1996***, *La question de la sécurité alimentaire dans le monde arabe*, thèse de doctorat en science politique, Bordeaux, université Montesquieu Bordeaux IV, juillet 1996, 126 p.
[3] Kouamé Yao Séraphin, 2017, « Sécurité alimentaire ou développement durable : le dilemme des paysans de Brobo », L'agriculture africaine : les défis de nourrir la population, développer l'économie et préserver l'environnement in *Afrique durable 2030* - n°4, 2/2017
[4] MAEP, 2017, Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA) 2025 et Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle PNIASAN 2017 – 2021
[5] Merlet Michel, 2013, « Des réformes agraires sont toujours nécessaires, mais sous des formes nouvelles », Dans *Pour* 2013/4 (N° 220) ,10p.
[6] Parmentier Bruno, 2007, Nourrir l'humanité : les grands problèmes de l'agriculture mondiale au vingt-et-unième siècle, Paris : La Découverte, 274p.
[7] Tankou Maurice, 2017, « Plaidoyer pour une transformation inclusive et durable de l'agriculture africaine », L'agriculture africaine : les défis de nourrir la population, développer l'économie et préserver l'environnement in Afrique durable 2030 - n°4, 2/2017.
[8] UNCTAD, 2015, The least developed countries rapport: Transforming Rural Economies, UNTAD, GENEVA, Switzerland. www.unctad.org/ldcr
[9] Westhoff Patrick, 2013, « The Progressive Farmer » in *Get Plan B Ready. Ag's Boom Waning, Economists Warn*, dtn/.

REPUBLIC OF TUNISIA

International Conference-Training (ESC'2022)

From 7 to 12 November 2022 Hammamet (Tunisia)

Colloque
Eau-Agriculture-Climat
(EAC'2021)
Water-Agriculture-Climat
(WAC-2021)
Formation

Water resources, Health and Climate Change

International STEE Journal

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

ASTEE Tunisie
2014 - 2020
L'Eau : Notre Métier
L'Environnement : Notre Vie
Le Climat : Notre Planète
Le Développement : Notre Objectif
La Formation : Notre Devoir
La Recherche : Notre Avenir

IRESA · Université de Carthage · friend water · INAT · IRD Institut de Recherche pour le Développement France · FAO Fiat Panis · OSS · giz

2022

Colloque-Formation International

Eau-Santé-Climat'2022

Ressources en Eau, Santé et Changement Climatique

07 au 12 Novembre 2022, Hammamet (Tunisie)

www.jistee.org

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

Prof. Noureddine Gaaloul

FOR AUTHOR USE ONLY

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

9 786204 716589

Noureddine Gaaloul

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

in the MENA regions (Middle East and North Africa)

LAP LAMBERT Academic Publishing

Noureddine Gaaloul

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

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

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

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**
07 Volumes, 20 Numéros, (317 Articles)
07 Volumes, 20 Isues, (317 Papers)

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 Intégré 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 (E²C-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 (E²C-2018) /Water-Environement-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 – Décembre2014 (*11 Articles)* Changements Climatiques en Région Méditerranéenne /*Climate Change in the Mediterranean Region*

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

International Journal of Water Science and Environment Technologies

We are pleased to inform you that the Vol 7, No 2 of International Journal of Water Science and Environment Technologies is available at https://jistee.org/volume-vi-2022/
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:

International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

Volume (*vii*) - Issue 2 - [June 2022]
ISSN Online: 1737-9350
ISSN Print: 1737-6688
Open Access
WWW.ijstee.org

International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)
www.ijstee.org

http://ijstee.org/journal-international-sciences-et-techniques-de-leau-et-de-lenvironnement/

Invitation for Research Article – June 2022

Dear Researcher

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

We publish

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

Description :

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

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

With regards
Editorial Office
International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

Journal International Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement : Volume (vii), Numéro 1– Mars 2022

JOURNAL INTERNATIONAL

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

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

Volume (vii) - Numéro 1 – Mars 2022

Eau-Santé-Climat'2022

Changement Climatique : Quels effets sur notre santé ?

Rédacteur en Chef : Pr Noureddine Gaaloul

Publié par:

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

International Journal Water Sciences and Environment Technologies : Volume (vii), Issue 1 – March 2022

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (vii) - Issue 1 – March 2022

Water-Health-Climate'2022

Climate Change: What Effects on Our Health?

Editor-in-Chief: Pr Noureddine Gaaloul

Published by:

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