

# INTERNATIONAL JOURNAL

## *Water Sciences and Environment Technologies*

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

*Volume (vii) - Issue 3 - September 2022*

**W**ater-**H**ealth-**C**limate'2022



**Water, Climate, Health, Disparities:  
Solutions?**

**Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul**

*Published by:*

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

## International Scientific Committee (ISC-WHC'2022)

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

## Preface



*Around the world, billions of people lack access to the most basic services that are required to protect their health, whether from COVID-19, or any other risk. Handwashing facilities are essential for the prevention of infectious disease transmission, but are lacking in 40 % of households. Antimicrobial-resistant pathogens are widespread in water and waste and their sound management is needed to prevent the spread back to humans. In particular it is essential that health care facilities be equipped with water and sanitation services, including the soap and water that constitutes the most basic intervention to cut transmission of S.ARS-CoV-2 and other infections, access to reliable energy that is necessary to safely carry out most medical*

*procedures, and occupational protection for health workers.*

*Overall, avoidable environmental and occupational risks cause about one quarter of all deaths in the world. Investment in healthier environments for health protection, environmental regulation, and ensuring that health systems are climate resilient, is both an essential guardrail against future disaster, and offers some of the best returns for society.*

*Climate change poses current and increasing threats to human health. As the climate continues to warm, the risks to human health will grow, exacerbating existing health threats and creating new public health challenges. Drought is a slow-moving hazardous event, so the psychological effects of living through this type of disaster are more subtle and last longer than with other natural disasters.*

*Climate change represents the most significant challenge of the twenty-first century and poses risks to water and sanitation services. Concerns for water supply include damage to infrastructure from flooding, loss of water sources due to declining rainfall and increasing demand, and changes in the water quality of water sources and within distribution of water. Sanitation concerns include damage and loss of services from floods and reduced carrying capacity of waters receiving wastewater. Key actions to reduce climate risks include the integration of measures of climate resilience into water safety plans, as well as improved accounting and management of water resources. Policy prescriptions on technologies for service delivery and changes in management models offer potential to reduce risks, particularly in low-income settings. Water and sanitation services contribute to greenhouse gas emissions. Choice of wastewater treatment technologies, improved pumping efficiency, use of renewable sources of energy, and within-system generation of energy offer potential for reducing emissions. Overall, greater attention and research are required to understand, plan for, and adapt to climate change in water and sanitation services. As with many other climate change adaptations, the likely benefits from no-regrets solutions are likely to outweigh the costs of investment.*

*The evidence is increasing of the potential risks to water and sanitation services posed by climate change. There are multiple risks derived from both changes in precipitation and increases in temperature, which relate to damage to infrastructure leading to the loss of services and environmental contamination and to deterioration in water quality, impacts that will increase risks to health. It is clear that these risks are widespread, affecting both poor and rich countries, and countries in temperate and tropical environments. There is good evidence that impacts on water and sanitation services from climate change will lead to direct impacts on health. This is primarily derived from infectious disease, particularly diarrhea, but there is some evidence that noncommunicable disease risks will also increase.*

*Different technologies and management approaches have very different resilience to climate change. Strategies to manage the impacts of climate change are beginning to emerge; however, there remains much to be done, particularly in low-income countries and for small supplies in all countries. Building climate resilience into existing risk management approaches such as water safety plans appears to offer one of the most cost-effective approaches to managing climate risks, and similar approaches have potential in sanitation. However, in some cases investments in new infrastructure or catchment management will be required. Water and sanitation services also represent important sources of greenhouse gases, although their overall contributions remain poorly quantified and this is an important research need. Nevertheless, choices can be made to minimize emissions through selection of technologies and through sound management. Given that development benefits are likely to arise from actions to build climate resilience, more water and sanitation, programs should consider accessing climate finance in the future.*

*Interactions between climate change, water and agriculture are many, complex and region-specific. Climate change can impact water resources in different ways, for instance, through changes in the amount and patterns of precipitations and through extreme water events like floods and droughts. Water quality is adversely affected, among others, as a result of changes in river flows and nutrient and sediment run offs leading to higher water temperatures, reduced dissolved oxygen and loading of nutrients. Agricultural fertilizer use and overexploitation of (ground)water can aggravate the decreasing water quality. Hydrological changes can in turn deeply affect agricultural production and have destabilising impacts for agricultural markets, food security and non-agricultural water uses.*

*Thus, climate change impacts on the water cycle and the subsequent consequences on agriculture but also non-sustainable agricultural practices are increasingly affecting people's livelihoods, emphasizing the urgency to step-up adaptation and maximize mitigation co-benefits.*

*The interlinkages among climate change, water and agriculture are being recognised as key also in the preparation process for COP 27, in the framework of which two dedicated Presidency's flagship initiatives have been identified: "Action for Water Adaptation and Resilience (AWARE)" and "Food and Agriculture for Sustainable Transformation (FAST)".*

*By 2050 some 60 percent more food - up to 100 percent in developing countries - is expected to be needed in order to feed the world while agriculture will continue to be the largest user of water globally, accounting in many countries for around two-thirds or more of supplies drawn from rivers, lakes and aquifers. This has important implications for the adaptation of water systems at the watershed and basin levels, both in terms of water allocation between agriculture and other water uses and of environmental externalities. Next to that, adaptation of agricultural practices are needed to account for the reduced water availability.*

*Understanding intersectoral impacts opens crucial opportunities for cooperation benefits that transboundary water cooperation can leverage.*

*Cooperation over shared waters helps to improve adaptation to water-related climate risks (for example through the development of shared information systems or data exchange across sectors, enlarging the range and location of available measures, and sharing the costs and benefits). It prevents maladaptation that might unfold through unilateral measures and their potential negative impacts.*

*More broadly, it also brings an essential contribution to climate resilience, sustainable development, food and energy security, peace and regional integration. Planning for climate change adaptation at the level of transboundary basins can deliver benefits to and boost the resilience capacities of billions of people and species at the global scale.*

### **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](http://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, 22 Issues, (342 Papers) and 1 Book



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

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

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

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

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

**Issue 4 – December 2022 ( Papers)**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés



## Table of Contents

<b>Impacts of climate change on hydrological standards in West Africa: case of Ivory Coast</b>	<b>6</b>
<b>Relwindé Abdoul-Karim Nassa</b> ( <i>Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny - Ivory Coast</i> ), Amani Michel Kouassi, Kassi Alexis Kouame and Judith Bossa	
<b>Impact Covid-19 of the Middle East and North Africa (MENA) regions</b>	<b>24</b>
<b>Noureddine Gaaloul</b> ( <i>University of Carthage – INRGREF - Tunisia</i> ), Saeid Eslamian and Rim Katlane	
<b>Caractérisation des réseaux d'acteurs autour des marchés à bétail dans les Communes de l'Ouémé Supérieur, au nord-Est du Bénin</b>	<b>51</b>
<b>Maman Zakari Bassarou</b> ( <i>Université de Parakou – Bénin</i> ), Boni Sounon Bouko, Saliou Boukari and Jacob Afouda Yabi	
<b>Cartographie du niveau du risque industriel à abidjan sud : cas des populations riveraines des zones industrielles</b>	<b>60</b>
<b>Akoissi Ida Natacha Yao-Assahi</b> ( <i>Université Félix Houphouët-Boigny - Côte d'Ivoire</i> ); Péga Tuo and Kouassi Paul Anoh	
<b>Contribution de l'intelligence artificielle à la prévision des débits dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama, Côte d'Ivoire)</b>	<b>74</b>
<b>Assoko Adjoa Victoire Sandrine</b> ( <i>Université Félix Houphouët-Boigny - Côte d'Ivoire</i> ), Kouassi Amani Michel and Koffi Yao Blaise	
<b>L'architecture Hospitalière à l'Epreuve du COVID-19 : Cas de Trois Hôpitaux Bruxellois</b>	<b>88</b>
<b>Meriam Gaaloul</b> ( <i>Faculté d'Architecture La Cambre Horta - ULB (Université Libre de Bruxelles)</i> )	
<b>Comparaison statistique entre les pluviométries mesurées et celles simulées à partir des RCMs de CORDEX : cas d'étude du Sud-Ouest du Mali</b>	<b>116</b>
<b>Toure Adama</b> ( <i>Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderhamane Baba TOURE- Mali</i> ), Diancoumba Oumou and Keita Souleymane	

[www.jistee.org](http://www.jistee.org)

[jistee@iresa.agrinet.tn](mailto:jistee@iresa.agrinet.tn)

[jistee@yahoo.com](mailto:jistee@yahoo.com)

## Impacts of climate change on hydrological standards in West Africa: case of Ivory Coast

Relwindé Abdoul-Karim Nassa<sup>1</sup>, Amani Michel Kouassi<sup>2</sup>, Kassi Alexis Kouame<sup>3</sup> and Judith Bossa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Ecole Doctorale Polytechnique (EDP), Yamoussoukro, (Côte d'Ivoire).

<sup>2</sup> Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) ; Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi) ; Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques ; Yamoussoukro, (Côte d'Ivoire).

<sup>3</sup> Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM) ; Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE) ; Abidjan (Côte d'Ivoire).

<sup>4</sup> Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), École Supérieure des Mines et de Géologie (ESMG), Yamoussoukro, (Côte d'Ivoire).

### Abstract

The objective of this study is to analyze the impacts of climate change on hydrological standards regarding rainfall norms (annual rains and extreme rains) and extreme rains quantiles in Ivory Coast. The study carried out was based on annual maximum daily rainfall data and annual rainfall data collected over the period 1931-2010 from twenty-six (26) rainfall stations. Firstly, the methodological approach is based on the evaluation of standards (normal and quantile) and on the other hand on their comparison from two periods with a different climatic context, such as a wet period (1931-1970) and a period dry (1971-2010). The comparison of the studied norms indicators (normal and quantile) was carried out using the matrices of the relative deviations and the binary matrices.

The main results show that the norms of the wet period are higher than those of the dry period. Analysis of binary matrices of annual rainfall norms shows that 100% of the values are greater than 1%. Regarding the normals of extreme rains, 96.15% are greater than 1%. The analysis of the binary matrices of the quantiles of the annual maximum daily rainfall revealed a rate of values greater than 1% varying between 88 and 100% regardless of the return period. We can confirm the impact of climate change on hydrology standards or norms in Ivory Coast. Therefore, we need to take account in the design of drainage facilities.

**Key Words:** Climate change, Hydrological standards, Stationarity, Ivory Coast.

## Impacts des changements climatiques sur les normes hydrologiques en Afrique de l'Ouest : Cas de la Côte d'Ivoire

### Résumé

L'objectif de cette étude est d'analyser les impacts du changement climatique sur les normes hydrologiques concernant les normes pluviométriques (pluies annuelles et pluies extrêmes) et les quantiles de pluies extrêmes en Côte d'Ivoire. L'étude réalisée s'est appuyée sur les données pluviométriques journalières maximales annuelles et les données pluviométriques annuelles collectées sur la période 1931-2010 à partir de vingt-six (26) stations pluviométriques. L'approche méthodologique s'appuie d'une part sur l'évaluation des normes (normales et quantiles) et d'autre part sur leur comparaison à partir de deux périodes au contexte climatique différent, comme une période humide (1931-1970) et une période sèche (1971-2010). La comparaison des indicateurs de normes étudiés (normale et quantile) a été effectuée à l'aide des matrices des écarts relatifs et des matrices binaires.

Les principaux résultats montrent que les normes de la période humide sont supérieures à celles de la période sèche. L'analyse des matrices binaires des normales pluviométriques annuelles montre que 100% des valeurs sont supérieures à 1%. Concernant les normales des pluies extrêmes, 96,15% sont supérieures à 1%. L'analyse des matrices binaires des quantiles des précipitations journalières maximales annuelles a révélé un taux de valeurs supérieures à 1% variant entre 88 et 100% quelle que soit la période de retour. Nous pouvons confirmer l'impact du changement climatique sur les standards ou normes hydrologiques en Côte d'Ivoire. Par conséquent, nous devons en tenir compte dans la conception des installations de drainage.

**Mots Clés :** Changement climatique, Normes hydrologiques, Stationnarité, Côte d'Ivoire.

<sup>1</sup> Corresponding author: [nassa.ing.inphb@gmail.com](mailto:nassa.ing.inphb@gmail.com)

## INTRODUCTION

Like Africa in general and West Africa in particular, Ivory Coast has been experiencing climate change phenomena since the 1970s [1]. Despite this climatic context characterized by a rainfall deficit, many West African countries (Benin, Burkina Faso, Ivory Coast, Niger, Ghana, Senegal, Togo) are facing serious water problems flooding in both urban and rural areas [2]. According to [3], floods have been a major risk for the national territory of Ivory Coast in recent years (Abidjan, Bouaflé, Grand-Lahou, Dimbokro, M'bahiakro, etc.). The District of Abidjan is an example of cities that constantly experience floods, sometimes known as catastrophic (loss of life, disaster victims, injuries, house collapses, and many other significant damages to economic infrastructure) [3]. Studies carried out by [4] have shown that the rainfall deficit during the recent drought is largely offset by the modification of surface conditions (increase in cultivated areas and bare soils) in the functioning of watersheds. Paradoxically, this is how flow increases are observed in these basins despite the deficits recorded in rainfall. Also, for the construction of hydraulic structures, bridges, spillways for dams, heights of dikes to protect against floods, etc. we define the project flow rates in general from extreme precipitation quantiles as precipitation is influenced by climate change [5]. This is the case of the empirical methods used which are based on the standards defined from the extreme rainfall quantiles (ORSTOM method, CRUPEDIX, SOCOSE method, etc.) on the one hand and standards based on annual and extreme rainfall norms (ORSTOM method, CIEH method, etc.) on the other. According to [6], the design of facilities does not consider interannual variability, which creates situations of scarcity in times of drought. This is the case of the Kossou dam in Ivory Coast, which was built during the end of the wet period, never reached its nominal capacity due to the persistence of the drought [7]. In short, the use of management and hydrological predetermination tools is made difficult by the climatic and environmental changes that West Africa has been experiencing since the 1970s [5]. The recent work of [8] Nassa (2017) on the evolution of the norms of the annual maximum daily rains in the District of Abidjan (South of Ivory Coast) over thirty-year sliding periods ranging from 1931 to 2020 using matrices absolute and binary relative deviations, showed a non-stationarity of the normals with regard to the impacts of climate change which affected the annual maximum daily rains at the Port-Bouët station (Abidjan, Ivory Coast). Likewise, [3] have highlighted a non-stationarity of the extreme rainfall quantiles of the Port-Bouët station (Abidjan, Ivory Coast) from the matrices of absolute and binary relative deviations. Thus, the matrix of relative deviations and the binary matrix remain help tools for designers showed a non-stationarity of the normals with regard to the impacts of climate change which affected the annual maximum daily rains at the Port-Bouët station (Abidjan, Ivory Coast). Likewise, [3] have highlighted a non-stationarity of the extreme rainfall quantiles of the Port-Bouët station (Abidjan, Ivory Coast) from the matrices of the absolute and binary relative deviations. Climate change has also affected weather patterns in Ivory Coast [9]. For the definition of climatic regimes, monthly and annual rainfall normals are generally defined.

We can therefore see that Hydrological standards are generally determined from rainfall data which is influenced by climate instability. The analysis of standards therefore requires the definition of reference periods considering this climatic instability. The adoption of a period of thirty years is a matter of tradition and the choice of this reference period confronts us with problems of representativeness [10]. To illustrate their point, the authors take as an example the thirty-year reference period 1961-1990. According to the authors, the very wet period of the early 1960s as well as the severe droughts that affected the Sahel during the 1968-1973 and 1981-1987 periods will significantly influence the averages calculated over the 1961-1990 period. The averages thus calculated mask the non-stationary nature of the rainfall. The authors believe that for a better representation of the climatic conditions that have prevailed since 1950, it is reasonable to split the time series of rainfall observations into two samples, one which would correspond to the wet phase prior to the onset of the decrease in rainfall, and the other in the dry phase that follows. [10] made predeterminations of the annual maximum daily mean flows from Niger to Koulikoro by splitting the total sample of observations into two parts, before and after 1970. The authors believe that for a better representation of the climatic conditions that have prevailed since 1950, it is reasonable to split the time series of rainfall observations into two samples, one which would correspond to the wet phase prior to the onset of the decrease in rainfall, and the other in the dry phase that follows. Thus, to limit the various hydroclimatic risks faced by Ivory Coast, a country in West Africa, it is essential to study the impact of climate change on hydrological standards. The main question guiding this research is the following: have the current climate changes impacted the hydrological standards defined from the rainfall norms (normal annual rainfall and normal extreme rainfall) and extreme rainfall quantiles in Ivory Coast?

The objective of this work is to analyze the impact of climate change on hydrological standards defined from rainfall norms (normal annual rainfall and normal extreme rainfall) and extreme rainfall quantiles in Ivory Coast.

## MATERIALS AND METHODS

**Presentation of the study area:** Ivory Coast is in West Africa, in the intertropical zone, between the equator and the tropic of cancer, precisely between latitudes 4 ° 30 'and 10 ° 30' North and longitudes 8 ° 30 and 2 ° 30 West (Figure 1). It covers an area of 322,462 km<sup>2</sup> (about 1% of the African continent) and borders with the Gulf of Guinea to the South, Ghana to the East, Liberia and Guinea to the West, Mali, and Burkina Faso. Faso in the North. Figure 1 shows the study area which is Ivory Coast.

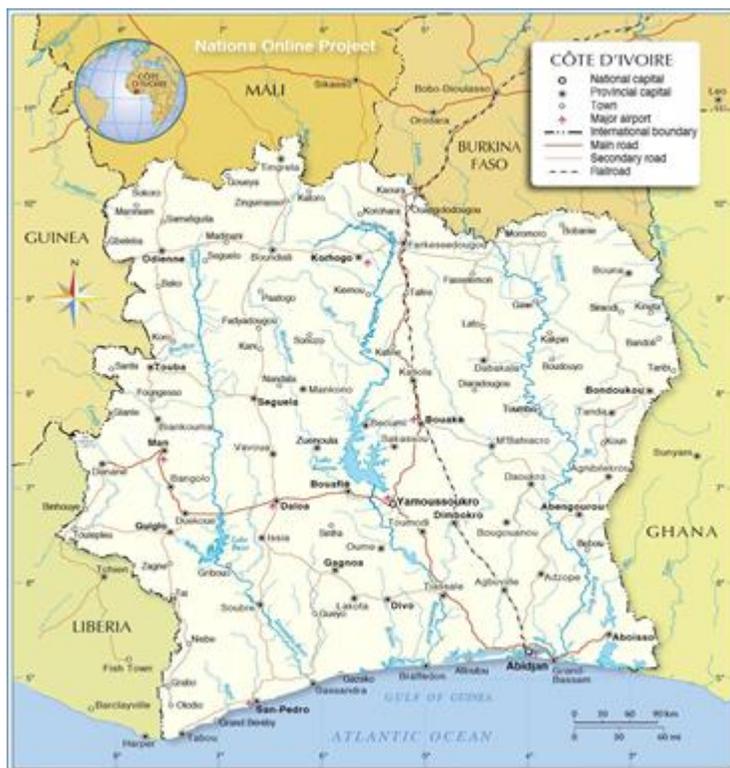


Figure 1 - Presentation of the study area (Ivory Coast)

In Ivory Coast, there are four major climatic zones (Figure 2): the tropical transition regime or Sudanese climate in the north, the equatorial regime of attenuated transition or Baoulean climate in the center, the equatorial transition regime or the Attian climate in the South and the mountain regime or mountain climate in the West. Two main types of plant landscapes are present on Ivorian territory: a forest landscape and a savannah landscape. The first covers the southern half of the country and belongs to the Guinean domain. The second occupies the northern half of Ivory Coast and is part of the Sudanese domain [11]. The Guinean domain has a predominantly dense humid forest vegetation. Ivory Coast is characterized by a relief not high. Most of the land consists of trays and plains. The west of the country, mountainous region, however, presents some reliefs beyond a thousand meters (the mount Nimba culminates at 1,752 m). Apart from this region, altitudes generally vary between 100 and 500 meters, with most plateaus being around 300 to 400 meters. These have different aspects. The highest tops are rigid in their shapes as well as in their materials; those of intermediate levels quite often have blunt shapes; the lower ones have a certain rigidity but are made of loose materials. Huge and rigorously tabular and horizontal vertical expanses are sometimes present in the savanna regions, but also under the small snags of

savannas included in the dense forest. The dominant element of these plates is constituted by a ferruginous armor visible on the surface in the form of rust-colored slabs, but sometimes veiled with sand.

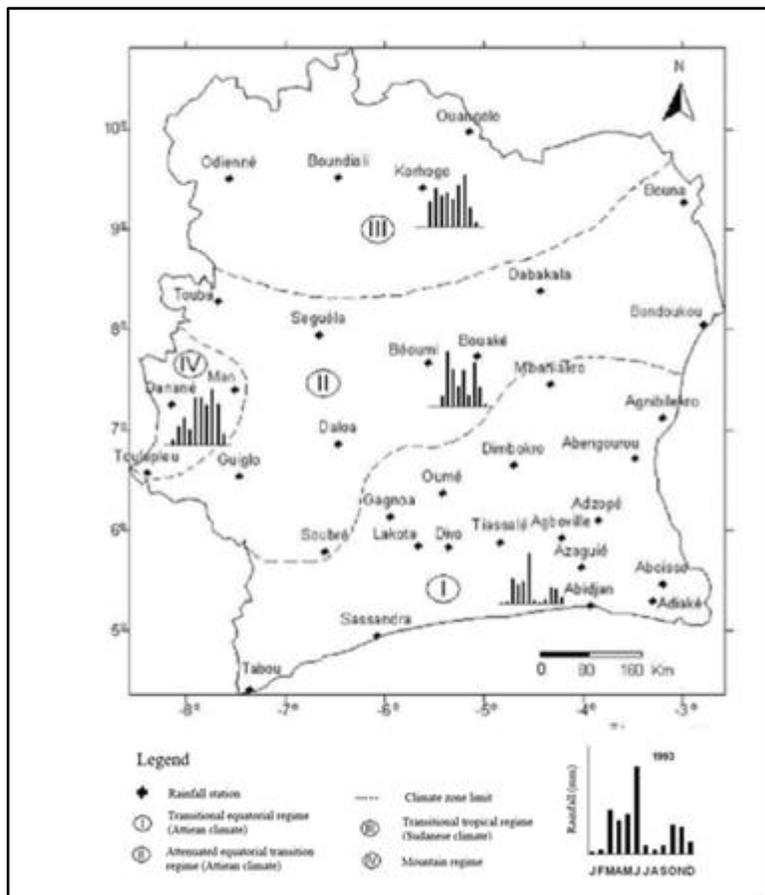


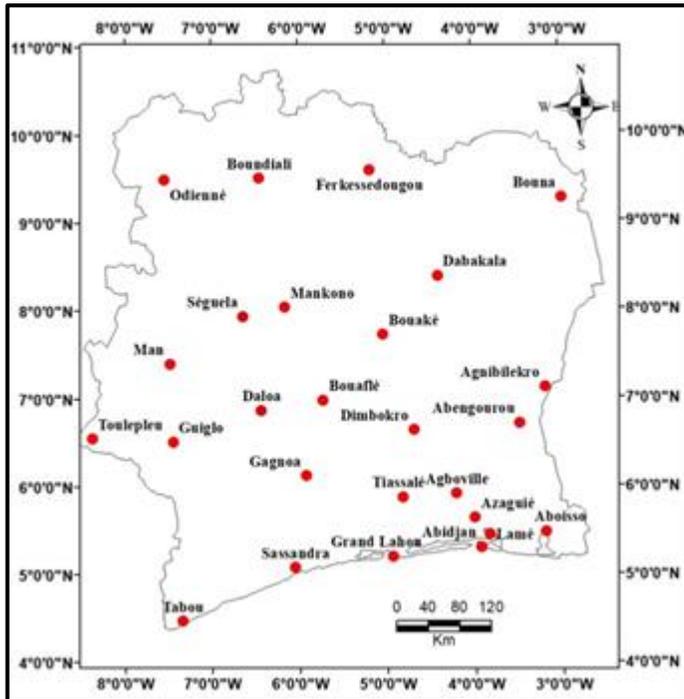
Figure 2 - Main climatic zones of Ivory Coast [12].

**Data:** The data used to carry out this study come from the national meteorological measurement network of Ivory Coast. The daily rainfall data used covers the period 1931-2010 and comes from twenty-six (26) rainfall stations distributed throughout the country (Figure 3). They were made available to us by SODEXAM (Aeronautical, Airport and Meteorological Development and Exploitation Company). These stations have been classified in the main climatic zones of Ivory Coast (Table 1). The choice of stations was guided by the availability and quality of chronological data (fewer gaps with a threshold of 5%).

*Rehwindé Abdoul-Karim Nassa et al., /IJWSET -JISTEE, Vol. (vii), Issue 3, September 2022, pp.6-23*

**Table 1:** Distribution of stations according to climatic zones

Zones Climatic	Weather	Stations
Zone I	Equatorial climate of transition	Abidjan, Aboisso, Agboville, Agnibilekro, Azaguié, Dimbokro, Gagnoa, Grand-Lahou, Lamé, Tabou, Tiassalé, Sassandra
Zone II	Humid tropical climate	Bouaflé, Bouaké, Bouna, Dabakala, Daloa, Guiglo, Mankono, Séguéla
Zone III	Subtropical climate	Boundiali, Ferkessedougou, Odienné
Zone IV	Mountain climate	Man, Toulepleu



**Figure 3 -** Location of selected rainfall stations

The various data have undergone preprocessing. Indeed, the residue method was applied to the annual rainfall data to identify any erroneous values. The regional vector method and linear regression made it possible to fill in the gaps and correct the values identified as erroneous.

Two types of series were formed, namely the annual rainfall series and the annual maximum daily rainfall series. The statistical characteristics of the annual rains are given in Table 2.

**Table 2:** Statistical characteristics of annual rainfall amounts (1931-2010)

Stations	Average	Standard deviation	Coefficient of variation (%)	Asymmetry coefficient	Kurtosis coefficient
Abengourou	1344.68	237.42	17.7	0.74	0.45
Abidjan	1860.90	413.51	22.2	0.56	0.13
Aboisso	1795.34	410.85	22.9	0.47	0.00
Agboville	1384.54	254.58	18.4	0.44	-0.28
Agnibilékro	1184.89	216.61	18.3	0.41	0.04
Azaguié	1662.11	329.56	19.8	0.25	-0.64
Dimbokro	1225.99	199.73	16.3	1.95	5.61
Bouaflé	1299.04	207.75	16, 0	0.95	1.38
Bouaké	1614.28	384.92	23.8	1.03	0.67
Bouna	1238.76	158.04	12.8	1.69	5.23
Boundiali	1399.79	357.14	25.5	0.22	-0.23
Dabakala	1224.07	147.06	12.0	1.08	2.23
Daloa	1339.08	248.75	18.6	0.96	0.57
Ferkéssédougou	1278.80	193.18	15.1	0.82	1.00
Gagnoa	1423.57	224.52	15.8	0.80	0.53
Grand Lahou	1582.85	446.74	28.2	0.57	0.39
Guiglo	1615.82	310.71	19.2	0.46	0.37
Lamé	1614.28	384.92	23.8	1.03	0.67
Man	1654.06	391.89	23.7	2.54	13.26
Mankono	1291.35	171.15	13.3	0.20	-0.13
Sassandra	1564.32	375.99	24.0	0.55	0.18
Séguéla	1294.77	211.22	16.3	0.88	0.85
Odienné	1475.82	240.82	16.3	0.53	0.22
Tabou	2300.44	454.91	19.8	0.35	-0.02
Tiassalé	1265.96	274.38	21.7	0.04	0.72
Toulepleu	1662.76	370.25	22.3	0.31	-0.14

The analysis of table 2 of the annual rainfall heights (1931 to 2010) shows that the average annual rainfall varies between 1184.89 mm (Agnibilékro) and 2300.44 mm (Tabou) with an average of 1484.55 mm. The variation coefficients fluctuate between 12.0% (Dabakala) and 28.2% (Grand Lahou) with an average of 19%. 92.3% of the series recorded coefficient of variation values lower than 25% against 7.7% which are higher (Boundiali and Grand Lahou). The series formed are therefore homogeneous overall except for that of Boundiali and Grand Lahou, which are heterogeneous. This result reflects a very low dispersion of the annual rainfall levels of the series considered over time. As for the asymmetry coefficients, they oscillate between 0.04 (Tiassalé) and 2.25 (Man) with an average of 0.76. Since the asymmetry coefficients are positive, the distribution is concentrated to the right of the mean. Also, the peak of the annual distribution is less flattened than that of a normal distribution because 76.92% of the flattening coefficients are positive against 24.08% which is negative.

**Table 3:** Statistical characteristics of extreme rains (1931-2010)

Stations	Average (mm)	Standard (mm)	deviation	Coefficient variation (%)	of Asymmetry coefficient	Kurtosis coefficient
Abengourou	84.12	38.64		45.93	1.73	3.56
Abidjan	139.24	45.74		32.85	0.80	1.75
Aboisso	130.37	57.05		43.76	1.18	1.38
Agboville	87.13	38.13		43.76	2.27	9.40
Agnibilekro	72.24	25.42		35.19	1.65	4.95
Azaguié	95.80	34.68		36.20	0.84	0.40
Bouaflé	82.44	31.00		37.61	1.33	2.98
Bouaké	75.16	30.13		40.09	1.37	2.70
Bouna	80.67	35.40		43.88	1.49	4.44
Dabakala	82.62	30.59		37.03	5.07	34.55
Boundiali	91.20	52.69		57.77	1.26	2.11
Daloa	86.36	32.51		37.64	0.43	0.23
Dimbokro	76.17	20.74		27.22	1.83	5.29
Ferkessedougou	76.76	30.63		39.91	0.78	0.86
Gagnoa	80.58	28.65		35.56	2.53	12.02
Grand Lahou	136.06	53.62		39.41	0.89	0.73
Guiglo	101.94	44.31		43.47	1.57	2.96
Lamé	126.66	44.41		35.06	1.54	2.98
Man	83.85	31.86		38.00	1.07	1.99
Mankono	85.62	31.48		36.76	0.46	-0.59
Sassandra	124.96	53.37		42.71	0.55	-0.45
Séguéla	80.12	34.10		42.56	1.23	3.29
Odienné	83.24	29.14		35.01	0.21	-0.39
Tiassalé	88.11	35.13		39.88	1.74	3.76
Tabou	142.15	57.55		40.49	0.51	0.83
Toulepleu	92.27	39.86		43.20	2.27	7.12

Analysis of the table 3 shows that the average extreme rains vary between 72.24 mm (Agnibilekro) and 142.15 mm (Tabou) with an average of 95.61 mm. The coefficients of variation fluctuate between 27.22% (Dimbokro) and 57.77% (Boundiali) with an average of 39.65%. All coefficients of variation are greater than 25%. This result reflects a dispersion of the extreme rains considered over time. The series formed are therefore heterogeneous. The asymmetry coefficients range from 0.21 (Odienné) to 5.07 (Dabakala) with an average of 1.41. Since the asymmetry coefficients are positive, the distribution is concentrated to the right of the mean. As for the flattening coefficients, they oscillate between -0.59 (Mankono) and 34.55 (Dabakala) with an average of 4.19.

### Approach to the analysis of hydrological standards indicators

#### Methods of calculating hydrological standards

The comparative analysis of standards was based on the principle that the concept of hydrological standards refers to a stable climate ([7]; [10]). The standard indicators defined during this study are the normals and the quantiles of extreme rainfall. These data are not only scientifically interesting, but also serve as a planning basis for the authorities and various economic sectors (construction, agriculture, energy, tourism, etc.).

The annual rainfall normals and those of the annual maximum daily rainfall were calculated using the average ([6]; [13]) and over the 1931-1970 and 1971-2010 sub-periods. The mean is the simplest statistical quantity and the most used for the calculation of normals. It makes it possible to reduce a whole sample of values to one. This is the main feature that serves as the starting point for most standards. Indeed, the work of [14] has shown that the period 1931-1970 is wet and that the period 1971-2010 is dry.

The standards defined from the quantiles of annual maximum daily rainfall were calculated over the 1931-1970 and 1971-2010 sub-periods. The statistical modeling of annual maximum daily rainfall carried out by [14] on the

same stations used during this work and from the same data by means of several laws of extremes over the two sub-periods (1931-1970 and 1971- 2010) showed that the wet period (1931-1970) is dominated by the laws of Gumbel (54%), Gamma (19%) and exponential (11%). As for the dry period (1971-2010), it is dominated by the inverse Gamma (38%), Gumbel (35%) and Gamma (23%) laws. At the level of the wet period (1931-1970), in the equatorial climate of transition, the laws which predominate are those of Gumbel (46.15%), Gamma (23.08%) and Exponential (15.38%). In the humid tropical climate, we have the predominance of the laws of Gumbel (50%) and Gamma (25%). Regarding the subtropical climate, two thirds of the stations have a Gumbel tendency (66.67%). On the other hand, only a fringe (33.33%) is dominated by the Weibull law. As for the mountain climate, it is only dominated by Gumbel's law (100%). With regard to the dry period, the equatorial climate of transition from the dry period is dominated respectively by the laws Gumbel (38.46%), Gamma inverse (30.77%) and Gamma (23.08%). In the humid tropical climate, a predominance of the laws of Gumbel (50%) and inverse Gamma (37.5%) is observed. As for the subtropical climate, it is predominated by the Gamma law (66.77%) followed by the inverse Gamma law (33.33%). Finally, the mountain climate presents an appearance in equal proportion of the Gamma (50%) and inverse Gamma (50%) laws.

The quantiles were determined from the best statistical models that best fit the annual maximum daily rainfall data from the twenty-six (26) stations selected over the two sub-periods (1931-1970 and 1971-2010) [14]. The determination of the quantiles of the annual maximum daily rainfall was carried out using the analytical approach, the mathematical basis of which is as follows [3]:

$$x(F) = x_0 + S \times u(F) \quad (1)$$

Where :

- $x_0$ : the arithmetic mean ;
- $S$ : the standard deviation of the sample considered ;
- $u$ : reduced variable of the considered law.

$x_0$  et  $S$  being know, we compute  $x(F)$ , which is the desired quantile for a given non-exceeding frequency  $F_i$ .

After having determined the quantile relative to a given frequency, it is necessary to know the confidence interval of this quantile, that is to say the range of values which should contain this quantile. Thus, the quantiles of the annual maximum daily rainfall were calculated over the periods 1931-1970 and 1971-2010 for several return durations ( $T$ : 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years) [3]. The estimation of quantiles for the sizing of hydraulic structures requires a certain level of confidence. Indeed, the statistical models used to represent extreme rains are tainted with errors that need to be clarified.

#### ***Procedure for comparing hydrological standards***

The absolute relative deviations between the standards studied (annual rainfall norms, extreme rainfall norms and extreme rainfall quantiles) considering each time, a standard as a reference value were evaluated. The absolute relative deviations represent the absolute value of the difference between the considered standard and the reference standard. The absolute relative deviations are expressed as a percentage and are presented as follows ([3]; [6]):

$$\Delta X_{i / réf} = 100 \times \left| \frac{X_i - X_{réf}}{X_{réf}} \right| \quad (2)$$

Where:

- $\Delta X_{i / réf}$  : absolute relative deviation.
- $X_i$  : norm of period  $i$ .
- $X_{réf}$  : reference norm.
- $i$ : period (year).

An acceptability threshold of 1% was retained, i.e., if the absolute relative deviation is less than or equal to 1%, it is considered that the difference between the standard considered, and the reference standard is not statistically significant. The set of absolute relative deviations made it possible to constitute the matrices of absolute relative deviations. These matrices have been transformed into binary matrices (0,1). In fact, deviations less than 1%

have been replaced by 1 while deviations greater than 1% have been replaced by 0. The "1" reflects a non-significant difference between the standards while the "0" reflects a significant difference between standards.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Standards analysis

#### *Analysis of annual rainfall norms*

The statistical characteristics of the extreme rainfall norms calculated over the various periods 1931-1971 and 1971-2010 are given in Table 4.

Analysis of the table 4 shows that the normal values oscillate between 1195.74 and 2333.57 mm with an average of 1556.75 mm for the sub-period 1931-1970. As for the period 1971-2010, the values vary between 1147.39 and 2267.31 mm with an average of 1368.39 mm. The normal for the period 1931-1970 is higher than the normal for the period 1971-2010. The statistical characteristics (minimum, maximum and average) of the annual rainfall normals of the wet period (1931-1970) remain higher than those of the dry period (1971-2010).

**Table 4 :** Normal annual rainfall (1931-2010)

Stations	Normal (mm) 1931-1970	Normal (mm) 1971-2010
Abengourou	1396.37	1293.0
Abidjan	1926.46	1795.34
Aboisso	1900.20	1690.48
Agboville	1464.85	1304.24
Agnibilékro	1195.74	1174.04
Azaguié	1775.25	1548.98
Dimbokro	1272.16	1179.83
Bouaflé	1357.96	1240.12
Bouaké	1797.64	1430.92
Bouna	1274.30	1203.22
Boundiali	1538.54	1261.05
Dabakala	1243.14	1205.01
Daloa	1450.99	1227.18
Ferkéssédougou	1410.22	1147.39
Gagnoa	1,487.01	1360.13
Grand Lahou	1688.0	1477.70
Guiglo	1734.34	1497.3
Lamé	1797.64	1430.92
Man	1786.71	1521.4
Mankono	1324.53	1258.18
Sassandra	1769.16	1359.48
Séguéla	1370.76	1218.78
Odienné	1582.32	1369.33
Tabou	2333.57	2267.31
Tiascalé	1369.92	1162.0
Toulepleu	1798.13	1527.39
Minimum	1195.74	1147.39
Maximum	2333.57	2267.31
Average	1556.75	1368.39

**Analysis of extreme rainfall norms**

Table 5 presents the normals for the extreme rains of the wet period (1931-1970) and of the dry period (1971-2010).

**Table 5 :** Normal extreme rains (1931-2010)

Stations	Normal (mm) 1931-1970	Normal (mm) 1971-2010
Abengourou	79.06	85.45
Abidjan	152.67	128.73
Aboisso	114.37	140.87
Agboville	73.70	97.61
Agnibilékro	72.35	71.63
Araguie	91.40	103.97
Bouafé	85.60	81.46
Bouaké	77.46	71.57
Bouna	72.29	85.88
Boundiali	88.54	84.67
Dabakala	82.75	79.40
Daloa	93.99	80.73
Dimbokro	73.10	77.27
Ferkéssédougou	89.53	66.06
Gagnoa	73.84	84.27
Grand Lahou	149.70	127.57
Guiglo	87.11	113.22
Lamé	133.82	120.09
Man	82.54	81.08
Mankono	93.89	79.19
Odienné	91.48	72.65
Sassandra	146.11	104.02
Séguéla	85.05	72.44
Tabou	151.15	131.80
Tiassalé	81.71	87.03
Toulepleu	88.56	95.33
Minimum	72.29	66.06
Maximum	152.67	140.87
Average	96.61	93.23

It emerges from his analysis that the normals of the extreme rains evaluated over the period of 1931-1970 vary between 72.29 and 152.67 mm with an average of 96.61 mm. For the period 1971-2010, the normal values oscillate between 66.06 and 140.87 mm with an average of 93.23 mm. The statistical characteristics (minimum, maximum and average) of the annual rainfall normals of the wet period (1931-1970) remain higher than those of the dry period (1971-2010).

### ***Extreme rainfall quantiles analysis***

The quantiles were evaluated over the 1931-1970 and 1971-2010 sub-periods through six (6) return periods ( $T = 2, 5, 10, 20, 50$  and 100 years) (Tables 6 and 7). For the period of 1931-1970, the extreme rainfall quantiles of the 2-year return period are between 69.9 mm (Agnibilekro) and 146 mm (Tabou) with an average of 91.49 mm. Those of the 5-year return period oscillate between 83.8 (Agnibilekro) and 190 mm (Sassandra) with an average of 118.85 mm. As for the quantiles of the 10-year return period, they range from 92.9 mm (Agnibilekro) to 220 mm (Sassandra) with an average of 137.08 mm. As for the quantiles evaluated over the 20-year return period, they vary between 102 mm (Agnibilekro) and 248 mm (Sassandra) with an average 137.08 mm. Regarding the 50-year return period quantiles, they oscillate between 113 (Agnibilekro) and 281 mm (Tabou) with an average of 281 mm. Finally, the 100-year return quantiles vary between 122 mm (Agnibilekro) and 310 mm (Grand Lahou). The quantiles calculated from the 1971-2010 period range from 57.40 (Ferkessédougou) to 131 mm (Aboisso) with an average of 84.85 mm for the return period of 2 years. For the return period of 5 years, the quantiles vary between 85.7 (Ferkessédougou) and 184 mm (Tabou) with an average of 119.32. Concerning the 10-year return period quantiles, they oscillate between 108 (Ferkessédougou) and 225 mm (Tabou) with an average of 143.42 mm. As for the 20-year return duration quantiles, they are between 123 (Dimbokro) and 263.0 mm (Tabou) with an average of 166.96. Regarding the rainfall quantiles with a return period of 50 years, they vary between 140 (Dimbokro) and 310 mm (Tabou) with an average of 198.42 mm.

The analysis of the quantiles shows that the quantiles for the period 1931-1970 are greater than the quantiles for the period 1971-2010 for the same return period.

In fact, the rainfall quantiles calculated from the 1931-1970 period and those of the 1971-2010 period increase with the periods of return.

*Rehwindé Abdoul-Karim Nassa et al., /IJWSET -JISTEE, Vol. (vii), Issue 3, September 2022, pp.6-23*

**Table 6:** Extreme rainfall quantiles for the period 1931-1970

Stations	Quantiles (mm)					
	T = 2	T = 5	T = 10	T = 20	T = 50	T = 100
Abengourou	71.9	104	129	153	186	210
Abidjan	146	184	206	225	249	265
Aboisso	111	155	185	213	250	278
Agboville	76.7	95.3	105	112	120	124
Agnibilékro	69.9	83.8	92.9	102	113	122
Azagué	85.3	115	136	157	186	210
Bouafé	79.6	101	114	128	146	159
Bouaké	71.8	92.5	108	124	144	160
Bouna	73.4	93	104	115	127	135
Boundiali	82.8	108	132	164	223	285
Dabakala	78.7	98.7	112	125	141	153
Daloa	86.9	117	137	156	181	200
Dimbokro	71.9	93.6	108	122	140	153
Ferkessedougou	83.6	107	122	137	156	171
Gagnoa	73.2	94.6	109	122	140	153
Grand Lahou	136	182	213	243	281	310
Guiglo	86	112	129	145	166	182
Lamé	128	161	183	204	231	252
Man	80.8	107	125	143	167	187
Mankono	90.5	117	134	148	165	177
Odienné	89.3	115	132	148	169	185
Sassandra	139	190	220	248	281	305
Séguéla	83.7	107	123	138	157	172
Tabou	146	189	218	246	281	308
Tiassalé	86.6	110	124	136	151	162
Toulepleu	85.1	108	124	139	158	172
Minimum	69.9	83.8	92.9	102	113	122
Maximum	146	190	220	248	281	310
Average	91.49	118.85	137.08	154.79	178.08	196.46

*Rehwindé Abdoul-Karim Nassa et al., /IJWSET -JISTEE, Vol. (vii), Issue 3, September 2022, pp.6-23*

**Table 7:** Extreme rainfall quantiles for the period 1971-2010

Stations	Quantiles (mm)					
	T = 2	T = 5	T = 10	T = 20	T = 50	T = 100
Abengourou	73.30	113.00	145	181.0	235.0	284
Abidjan	123.00	165.00	191	213.0	241.0	260
Aboisso	131.00	182.00	217	249.0	292.0	323
Agboville	89.80	128.00	154	178.0	210.0	234
Agnibilékro	66.30	92.60	110	127.0	148.0	165
Azaguié	98.90	135.00	158	178.0	202.0	219
Bouaflé	86.60	103.00	125	148.0	182.0	209
Bouaké	60.90	94.60	122	153.0	201.0	243
Bouna	78.10	116.00	141	166.0	197.0	220
Boundiali	79.20	114.00	135	154.0	178.0	196
Dabakala	76.60	108.00	129	149.0	175.0	195
Daloa	74.00	102.00	122	142.0	171.0	194
Dimbokro	74.10	95.20	109	123.0	140.0	153
Ferkéssedougou	57.40	85.70	108	132.0	168.0	200
Gagnoa	78.30	103.00	120	137.0	160.0	177
Grand Lahou	118.00	168.00	200	231.0	272.0	302
Guiglo	104.00	149.00	179	208.0	245.0	272
Lamé	110.00	148.00	175	202.0	239.0	268
Man	76.50	107.00	126	143.0	163.0	178
Mankono	73.60	103.00	123	142.0	166.0	185
Odienné	68.80	95.30	111	126.0	144.0	156
Sassandra	92.60	134.00	166	199.0	248.0	289
Séguéla	59.00	99.20	130	160.0	200.0	231
Tabou	120.00	184.00	225	263.0	310.0	344
Tiassalé	77.60	109.00	133	158.0	193.0	222
Toulepleu	85.10	108.00	124	139.0	158.0	172
Minimum	57.40	85.7	108	123	140	153
Maximum	131	184	225	263.0	310	344
Average	84.85	119.32	143.42	166.96	198.42	222.79

**Comparison of standards**

**Comparison of normals**

The analysis of the absolute relative deviations of the normals of annual and extreme rainfall made it possible to identify the binary matrices of the norms presented in Tables 8 and 9. It emerges from the analysis of these matrices that there is a representation of the two codes (0,1). Analysis of the annual rainfall normal matrix shows that fifty-two (52) values are greater than 1% or 100% of the stations (Table 8). Also, no value is less than 1%.

**Table 8:** Binary matrix of annual rainfall normal

Stations	Years	1931-1970	1971-2010	Stations	1931-1970	1971-2010
Abengourou	1931-1970	1	0	Ferkessedougou	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Abidjan	1931-1970	1	0	Gagnoa	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Aboisso	1931-1970	1	0	Grand Lahou	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Agboville	1931-1970	1	0	Guiglo	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Agnibilékro	1931-1970	1	0	Lamé	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Azaguié	1931-1970	1	0	Man	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Bouaflé	1931-1970	1	0	Mankono	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Bouaké	1931-1970	1	0	Odienné	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Bouna	1931-1970	1	0	Sassandra	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Boundiali	1931-1970	1	0	Séguéla	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Dabakala	1931-1970	1	0	Tabou	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Daloa	1931-1970	1	0	Tiassalé	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
Dimbokro	1931-1970	1	0	Toulepleu	1	0
	1971-2010	0	1		0	1

Regarding the normal annual maximum daily rains, fifty values (50) are greater than 1%, or 96.15% of the stations (Table 9). On the other hand, only one station (Agnibilekro) which presents values lower than 1%, that is to say 3.85%. The number of values greater than 1% being predominant then the difference between the different normals is significant. It therefore follows that the normals calculated over the wet (1931-1970) and dry (1971-2010) periods are not stationary.

**Table 9:** Binary matrix of extreme rainfall normals

Stations	Years	1931-1970	1971-2010	Stations	1931-1970	1971-2010
Abengourou	1931-1970	1	0	Ferkessedougou	1	0
	1971-2010	0	1		0	1
	1931-1970	1	0		1	0
Abidjan	1971-2010	0	1	Gagnoa	0	1
	1931-1970	1	0		1	0
Aboisso	1971-2010	0	1	Grand Lahou	0	1
	1931-1970	1	0		1	0
Agboville	1971-2010	0	1	Guiglo	0	1
	1931-1970	1	1		1	0
Agnibilékro	1971-2010	1	1	Lamé	0	1
	1931-1970	1	0		1	1
Azaguié	1971-2010	0	1	Man	1	1
	1931-1970	1	0		1	0
Bouaflé	1971-2010	0	1	Mankono	0	1
	1931-1970	1	0		1	0
Bouaké	1971-2010	0	1	Odienné	0	1
	1931-1970	1	0		1	0
Bouna	1971-2010	0	1	Sassandra	0	1
	1931-1970	1	0		1	0
Boundiali	1971-2010	0	1	Séguéla	0	1
	1931-1970	1	0		1	0
Dabakala	1971-2010	0	1	Tabou	0	1
	1931-1970	1	0		1	0
Daloa	1971-2010	0	1	Tiassalé	0	1
	1931-1970	1	0		1	0
Dimbokro	1971-2010	0	1	Toulepleu	0	1

**Comparison of quantiles**

The analysis of the absolute relative deviations of the quantiles of the annual maximum daily rainfall made it possible to identify the binary matrices of the return periods (T = 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years). It emerges from the analysis of the statistics of the binary matrices (Table 10) that there is a representation of the two codes (0,1). For the 2-year return period, 100% of values are greater than 1%. As for the return period of 5, 10 and 50 years, 92.31% is greater than 1%, on the other hand 7.69% remains below 1%. Regarding the 20-year return periods, 88.46% of values are above 1% and 11.54% remain below. For 100-year return periods, 96.15% of values are greater than 1% versus 3.85% less than 1%. The proportion of values greater than 1% being very high, this reflects a significant difference between the different quantiles for the same return period. It should be deduced that the calculated annual maximum daily rainfall quantiles are therefore not stationary.

**Table 10:** Proportions of the relative absolute deviations of the extreme rainfall quantiles

Return period (year)	2	5	10	20	50	100
<b>Absolute deviation greater than 1%</b>	100%	92.31%	92.31%	88.46%	92.31%	96.15%
<b>Absolute deviation less than 1%</b>	0%	7.69%	7.69%	11.54%	7.69%	3.85%

## DISCUSSION

The relative deviations evaluated at the level of the annual rainfall norms of the 26 stations studied show that all the values are greater than 1%. Regarding the norms of annual maximum daily rainfall, 96.15% are greater than 1%. The analysis of the relative absolute deviations between the quantiles of annual maximum daily rainfall show that the smallest deviations are obtained with return periods less than or equal to 10 years and are between 0.92% and 46.67%. On the other hand, for return periods exceeding 10 years, the differences vary between 0.61% and 88.71%. These main results show that the standards studied (annual rainfall norms, annual maximum daily rainfall norms and annual maximum daily rainfall quantiles) are non-stationary due to climate instability.

According to the work of [8], the absolute relative differences between the different normals of the annual maximum daily rainfall (1931-1960, 1941-1970, 1951-1980 and 1961-1990) at the Port-Bouët station (Abidjan) indicate several groupings. First, a first group is highlighted, characterized by absolute relative deviations of less than 5% between the normals for the periods 1931-1961, 1941-1970, 1951-1980 and 1961-1990. Then, a second regrouping is observed and characterized by absolute relative differences of less than 5% between the normals of the periods 1971-2000 and 1981-2020. Finally, the last group is marked by a single normal (1991-2020), with absolute relative deviations greater than 5% with the other normals. Significant differences are highlighted between the normals for the 1931-1990 period on the one hand and the normals for the 1971-2020 and 1991-2020 periods on the other hand. The absolute relative deviations between the different normals of the annual maximum daily rainfall and the average of the entire series indicate that only the normals of the periods 1961-1990 and 1971-2000 have relative deviation values of less than 5%.

[6] has shown in Cameroon the relative differences in annual rainfall accumulations between the reference period (1951-1980) and the others (1941-1970, 1951-1980, 1961-1990, 1971-2000), including the average value calculated based on the observation period 1941-2000. The differences between the 1941-1970 and 1951-1980 normals are relatively modest. They are between -5 and + 5% over almost the entire territory. The margin of error involved in using one instead of the other is relatively small. We can conclude that they are equivalent. Between the 1961-1990 and 1951-1980 normals, the differences become more and more important, especially in the northern part of the country where they can reach 20% (100 to 200 mm difference depending on the region). The margins of error are becoming more and more important and the interchangeability of normals presents a considerable risk. The differences are even greater between the 1971-2000 and 1951-1980 normals. The range representing the differences of 5 to 10% between the two normals covers more than half of the country while the range 10 to 15% concerns the entire far north, the region of Mount Cameroon and part of the western mountainous region of country. The average values calculated over all the data for the observation period (1941-2000) are generally lower than those for the usual reference period. The differences between the two normals, however, remain modest overall. They are between 0 and 5% and can be considered negligible.

A comparison of the annual rainfall norms over 30 years with the average values for 1941-2000 was also carried out by [6]. According to the author, the period 1941-2000 has the statistical advantage of being longer and of integrating both all the dry and wet decades of the observation period. The values of the normal 1941-1970 and 1951-1980 are overall higher than the average for the period 1941-2000, unlike those for the periods 1961-1990 and 1971-2000. However, apart from the extreme north of the country and a few regions such as Mount Cameroon and the extreme south-east, the differences remain around 5%. It can be concluded that the average calculated on all the data remains globally closer to the other normals calculated over periods of 30 years.

The work of [3] on the pluviometric station of Port-Bouët (Abidjan) revealed two trends in terms of the quantiles of annual maximum daily rainfall. The first trend concerns the quantiles of the return periods equal to 2 and 5 years. In fact, as many relative absolute deviation values less than or equal to 5% are recorded as there are values greater than 5%. In this trend, the differences between the two reference periods [historical reference period (1961-1190) and updated reference period (1981-2010)] are the largest. The second trend concerns the quantiles of the return periods equal to 10, 20, 50 and 100 years. At this level, more absolute relative deviation values less than or equal to 5% are recorded than values greater than 5%. In this trend, the differences between the two reference periods [historical reference period (1961-1990) and updated reference period (1981-2010)] are the smallest. The differences between, on the one hand, the quantiles of the historical reference period (1961-1990) and the other quantiles are the highest regardless of the return period. Conversely, the differences between, on the one hand, the quantiles of the updated reference period (1981-2010) and the other quantiles are the smallest regardless of the return period. In general, the differences decrease with the duration of the return. The

differences between, on the one hand, the quantiles of the historical reference period (1961-1990) and the other quantiles are the highest regardless of the return period. Conversely, the differences between, on the one hand, the quantiles of the updated reference period (1981-2010) and the other quantiles are the smallest regardless of the return period. In general, the differences decrease with the duration of the return. The differences between, on the one hand, the quantiles of the historical reference period (1961-1990) and the other quantiles are the highest regardless of the return period. Conversely, the differences between, on the one hand, the quantiles of the updated reference period (1981-2010) and the other quantiles are the smallest regardless of the return period. In general, the differences decrease with the duration of the return. These results show that the quantiles differ more at low return periods (2, 5 years). However, for large return periods, and therefore rains of rare or very rare frequencies, the difference between the quantiles is not statistically significant. It can be concluded that in general, the quantiles are very different at low return periods (2, 5 and 10 years). However, they remain statistically equivalent to the major return periods (20, 50 and 100 years). This fact is more remarkable for the quantiles of the standard reference periods (1961-1990; 1981-2010).

To always appreciate the impact of climate change on standards, some authors such as [15] made predeterminations of the mean annual maximum daily flows from Niger to Koulikoro by splitting the total sample of observations into two parts, before and after 1970. The adjustment over the period 1971 to 1992 shows an underestimation. 24% compared to the results obtained considering the entire observation period.

For the study of the non-stationarity of standards, a comparative analysis of the modules of three rivers in West Africa [10] shows that the differences can be very significant in certain cases. Thus, a ratio of 2.5 was observed between the norm calculated over the period 1971-2000 and that calculated over the period 1951-1980, on the Bani at Douna. For all three rivers studied, the millennial flow calculated over the 1971-2000 period (dry period) is lower than the ten-year flow during the 1951-1980 period (wet period).

The results obtained during this study are in agreement with those of previous work ([3]; [6]; [8]; [10]; [15]). Indeed, the current climate changes have affected hydrological standards in West Africa and pose the problem of the choice of the reference period in the definition of hydrological standards.

## CONCLUSION

This study was devoted to the analysis of the stationarity of hydrological standards in a context of climate change in West Africa, more precisely in Ivory Coast. The analysis of the normals of the annual rains and of the extreme rains shows that the statistical characteristics of the normals (minimum, maximum and average) of the wet period (1931-1970) are superior to those of the dry period (1971-2010). The quantiles calculated over the different periods (1931-1970; 1971-2010) from several return periods (2, 5, 10, 20, 50 and 100) vary for a given return period, from the wet period to the dry period. The quantiles calculated for the wet period (1931-1970) remain higher than those determined for the dry period (1971-2010). The analysis of the binary matrices of the annual rainfall normals shows that 100% of the values are greater than 1%. Regarding the normals of extreme rains, 96.15% are higher than 1%, on the other hand 3.85% remain lower. In general, the percentage of values greater than 1% being then preponderant, the differences on the one hand between the normals of the annual rains and on the other hand between the norms of the extreme rains are significant. It therefore follows that the normals of the annual rains and the norms of the extreme rains (annual maximum daily rains) calculated on the one hand over the wet period (1931-1970) and on the other hand over the dry period (1971-2010) are not stationary. 15% are higher than 1%, on the other hand 3.85% remain lower. In general, the percentage of values greater than 1% being then preponderant, the differences on the one hand between the normals of the annual rains and on the other hand between the norms of the extreme rains are significant. It therefore follows that the normals of the annual rains and the norms of the extreme rains (annual maximum daily rains) calculated on the one hand over the wet period (1931-1970) and on the other hand over the dry period (1971-2010) are not stationary. 15% are higher than 1%, on the other hand 3.85% remain lower. In general, the percentage of values greater than 1% being then preponderant, the differences on the one hand between the normals of the annual rains and on the other hand between the norms of the extreme rains are significant. It therefore follows that the normals of the annual rains and the norms of the extreme rains (annual maximum daily rains) calculated on the one hand over the wet period (1931-1970) and on the other hand over the dry period (1971-2010) are not stationary. The analysis of the absolute relative deviations of the quantiles of the annual maximum daily rainfall revealed a rate of values greater than 1% varying between 88 and 100% regardless of the return period ( $T = 2, 5, 10, 20, 50$  and 100 years). The proportion of values greater than 1% being very large, then the difference between the different

quantiles is significant. It should be deduced that the calculated annual maximum daily rainfall quantiles are therefore not stationary.

Since the norms of annual rainfall, the norms of extreme rainfall and the quantiles of extreme rainfall are non-stationary, then the standards studied are non-stationary regarding the instability of the climate. The estimated standards are a decision support tool for designers and engineers with regard to the sizing of hydraulic structures, the study of climatic regimes, the management of water resources, etc. in a context of climate change, then the problem arises of the choice of the reference period to serve as a basis for the definition of hydrological standards in West Africa.

## Acknowledgment

The authors of this article thank the instructors whose reviews and suggestions have improved this article. They also thank SODEXAM for providing them with the rainfall data used in this study.

## References

- [1] Elmeddahi Y., Remaoun M., Abaïssa S., Issadi A. « Variabilité climatique et détection de tendances dans la relation pluie-débit pour l'évaluation des risques de sécheresse dans le bassin de l'Oued Ouahrane, Algérie ». *Techniques Sciences et Méthodes*; n°11, pp.141-164, 2016.
- [2] Goula A.B.T., Soro G., Dao A., Kouassi W.F., Srohourou B. « Frequency analysis and new cartography of extremes daily rainfall events in Cote d'Ivoire. » *Journal of Applied Sciences*; Vol 10, n°16, pp.1684-1694, 2010
- [3] Kouassi A.M., Nassa R.A.K., Kouakou K.E., Kouame F.K., Biemi J. « Analyse des impacts des changements climatiques sur les normes hydrologiques en Afrique de l'Ouest : cas du district d'Abidjan (sud de la Ivory Coast). » *Revue des Sciences de l'Eau*; Vol 32, n°3, pp.207-220, 2019.
- [4] Mahe G., Leduc C., Amani A., Paturel J.E., Girard S., Servat E., Dezetter A. « Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano-sahélienne et impact sur les ressources en eau. » in *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions* (Proceedings of an international symposium held at Montpellier, April 2003). *LAHS Publ*; n°278, pp.215-222, 2003.
- [5] Nka N.B. « Contribution à l'actualisation des normes hydrologiques en relation avec les changements climatiques et Environnementaux en Afrique de l'Ouest. » Thèse de Doctorat, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE) - Université Pierre et Marie-curie (UPMC), 214 p, 2016.
- [6] Sighomnou D. « Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun : perspectives d'évolution des ressources en eau. » Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Yaoundé 1, Cameroun, 279 p, 2004.
- [7] Paturel J.E., Ouedraogo M., Servat E., Mahe G., Dezetter A., Boyer J.F. « The concept of hydropluviometric normal in West and Central Africa in a context of climatic variability. » *Hydrological Science Journal*; Vol 48, n°1, pp.125-137, 2003.
- [8] Nassa R.A.K. « Analyse de l'influence des changements climatiques sur les quantiles des pluies extrêmes : cas du District d'Abidjan (Sud de la Ivory Coast). » Mémoire de fin de Cycle Ingénieur de conception. Ecole supérieure des Mines et Géologie. Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (Ivory Coast), 120 p, 2017.
- [9] Kouao M., Kouassi A.M., Dekoula S.C., Asseufi B.D. « Analyse de la régionalisation climatique de la Cote d'Ivoire dans un contexte de climat changeant. » *Larhyss journal*; Vol 17 n°1, pp.235-261, 2020.
- [10] Ouedraogo M. « Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale. » Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II, 257 p, 2001.
- [11] Brou Y.T. « Climat, mutations socio-économiques et paysages en Ivory Coast ». Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des recherches, Université des Sciences et Techniques de Lille (France), 212 p, 2005.
- [12] Goula A.B.T., Konan B., Brou Y., Savane I., Vamoryba F., Srohourou B. « Estimation des pluies exceptionnelles journalières en zone tropicale : cas de la Ivory Coast par comparaison des lois Lognormale et de Gumbel. » *Hydrological Sciences Journal*; Vol 52, n°1, pp.49-67, 2007.
- [13] Canellas C., Gibelin A. L., Lassegues P., Kerdoncuff M., Dandin P., Simon P. « Les normales climatiques spatialisées Aurelhy 1981-2010 : température et précipitation. » Direction de la climatologie. *Météo-France*; n°7, pp.47-55, 2014.
- [14] Nassa R.A.K., Kouassi A.M., Bossa S.J. « Analysis of climate change impact on the statistical adjustment models of extreme rainfall case of Ivory Coast. » *Larhyss Journal*, n°46 pp.21-48, 2021.
- [15] Olivry J.C., Mahe G., Bricquet J.P. « Les études du PEGI sur le bassin du Congo-Zaïre dans le contexte déficitaire des ressources en eau de l'Afrique humide. » in : Olivry J.C. & Boulègue J. (Eds.) : *Actes du Colloque PEGI Grands Bassins Fluviaux: Péri-Atlantiques* : Congo, Niger, Amazone, INSU, CNRS, ORSTOM, Paris, pp.3-12, 1995.

## Impact Covid-19 of the Middle East and North Africa (MENA) regions

Noureddine Gaaloul<sup>1</sup>, Saïed Eslamian<sup>2</sup>, Rim Katlane<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Carthage, National Research Institute of Rural Engineering, Water and Forestry, LR 161NRGREF02, LR Valorization of Unconventional Waters, 17 rue Hédi Karray, BP no. 10 Ariana 2080, Tunisia

<sup>2</sup> Department of Water Engineering, Isfahan University of Technology, Iran

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

### Abstract

*This paperr summarized the current situation of Coronavirus Disease of the Covid-19 pandemic and the Middle East and North Africa regions by individual country. It provides in depth information on Covid-19 as it discusses the disease epidemiology, transmission, clinical features, diagnosis, treatment and prevention. This chapter consist to determine the acceptance of a coronavirus disease 2019 (Covid-2019) vaccine among the general population in the Middle East and North Africa regions.*

*The objective of this chapter is of the analysis is to provide an overview and update on the potential impact of COVID-19 on food security, the economy, and the nutrition status in the Middle East and North Africa regions. In this update, a gender and protection lens is reflected, to absorb the COVID-19 shock. The analysis is based on secondary desk review from various sources.*

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

## Impact Covid-19 dans les régions Moyen-Orient et Afrique du Nord (MENA)

### Résumé

*Cet article résume la situation actuelle de la maladie à coronavirus de la pandémie de Covid-19 et les régions du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord par pays individuel. Il fournit des informations détaillées sur Covid-19 en traitant de l'épidémiologie, de la transmission, des caractéristiques cliniques, du diagnostic, du traitement et de la prévention de la maladie. Ce chapitre consiste à déterminer l'acceptation d'un vaccin contre la maladie à coronavirus 2019 (Covid-2019) parmi la population générale dans les régions du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord.*

*L'objectif de ce chapitre est de fournir une vue d'ensemble et une mise à jour de l'impact potentiel du COVID-19 sur la sécurité alimentaire, l'économie et l'état nutritionnel dans les régions du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord. Dans cette mise à jour, une lentille de genre et de protection est réfléchi, pour absorber le choc COVID-19. L'analyse est basée sur un examen documentaire secondaire provenant de diverses sources.*

**Mots clés :** Eau, Santé, Changement Climatique, .

---

<sup>1</sup> Corresponding author: [gaaloul.noureddine@iresa.agrinet.tn](mailto:gaaloul.noureddine@iresa.agrinet.tn)

## INTRODUCTION

COVID-19 first appeared in the Middle East and North Africa (MENA) Region in January 2020 in the United Arab Emirates (UAE). At first, much of the region managed to avoid the kind of rapid growth of the virus that struck Europe and the United States. But since this summer, the number of reported cases in the region has increased substantially. At first, the greatest problem seemed to be the secondary effects arising out of disease-driven shutdowns, the precipitous fall of trade, the collapse of energy prices and the evisceration of the travel and tourism industries. But by late this summer, an epidemiological crisis had struck many of the countries of the region and the outlook has worsened both on the medical and economic fronts.

The region's economy is now set to shrink by at least 5.7% in 2020 with several of those countries in conflict forecast to undergo as much as a 13% fall in GDP this year. By July, Arab stocks had fallen by 27%, suggesting the degree to which oil price falls and shutdowns had triggered knock-on effects in capital and equity markets. These changes will have a profound impact on the lives of those living in the region. The UN forecasts that the number of impoverished people living in the Arab world could increase by 14.3 million to 115 million overall. The International Labour Organisation (ILO) estimates that the equivalent of 17 million full-time jobs were lost in the second quarter of 2020 alone (UN 7/20). Young people and women have suffered particularly hard as a result of this downturn and attendant job cuts. This has serious implications not only for the region but also for Europe

While the pandemic has triggered a crisis in many of the region's poorer countries, the wealthier Gulf countries have had the means, infrastructure and know-how to cope with challenges both in terms of public health and economically. They have been in a stronger position, for example to more seamlessly scale up the digital economy to meet consumer goods and service requirements as traditional businesses shut down. That said, even these countries confront serious longer-term challenges stemming from the pandemic, including the dramatic fall of energy prices and the economic recession this has triggered.

The IMF now anticipates that the economy of the greater Middle East and Central Asia will shrink by 4.1% in 2020 (IMF, October 2020) and the greatest burden of this decline will fall on the most vulnerable sectors of society (UNHCR, March-August 2020).

As the world rallies against the COVID-19 pandemic, millions of people in developing communities are already struggling with a public health catastrophe. Without clean water, people are constantly at risk from waterborne diseases such as cholera. Climate change is exacerbating this threat. 785 million people still do not have clean water close to home. Droughts, floods, salt water contamination, poor service management, weak governance and environmental degradation all contribute to this denial of their basic human right. Climate change is accelerating and amplifying these factors, increasing unpredictability of weather patterns and making extreme weather events and natural disasters more frequent and intense. Sewage systems are flooded with increasing frequency, contaminating water sources and the local environment. Severe droughts force people to resort to even less safe sources of drinking water. And the likelihood of other health impacts is increased – for example in Bangladesh, where rising seas raise groundwater salinity, contributing to high blood pressure and heart disease among coastal communities.

It is those who have done least to contribute to man-made global warming who are carrying the greatest burden of climate change. People in the poorest countries are living on the brink of the climate crisis, and the poorest communities among them are worst affected, being least able to prepare and protect themselves and their environments. Without durable, climate-resilient water and sanitation systems, people struggle to cope. But well-managed water systems can protect access to reliable water supplies. Decent sanitation systems can resist floods. And, as we are witnessing during the COVID-19 pandemic, hygiene behaviors such as handwashing are a crucial first line of defense against the spread of disease. Our response to today's global health crisis must also address the effects of the climate emergency, and prepare us for the crises of tomorrow, with sustainable water, sanitation and hygiene services that are fit for the future.

The coronavirus disease 19 (COVID-19) is a highly transmittable and pathogenic viral infection caused by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), which caused global pandemic that led to a dramatic loss of human life worldwide. Genomic analysis revealed that SARS-CoV-2 is phylogenetically related to severe acute respiratory syndrome-like (SARS-like) bat viruses, therefore bats could be the possible primary reservoir.

The intermediate source of origin and transfer to humans is not known, however, the rapid human to human transfer has been confirmed widely. There is no clinically approved antiviral drug or vaccine available to be used against COVID-19. However, few broad-spectrum antiviral drugs have been evaluated against COVID-19 in clinical trials, resulted in clinical recovery. In the current review, we summarize and comparatively analyze the emergence and pathogenicity of COVID-19 infection and previous human coronaviruses including severe acute respiratory syndrome coronavirus (SARS-CoV) and middle east respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV). Scientists are still investigating the emergence and origination of SARS-CoV-2. Moreover, its zoonotic source of transmission to humans has not been confirmed yet, however, sequence-based analysis suggested bats as the key reservoir. DNA recombination was found to be involved at spike glycoprotein which assorted SARS-CoV (CoVZXC21 or CoVZC45) with the RBD of another Beta CoV, thus could be the reason for cross-species transmission and rapid infection. According to phylogenetic trees, SARS-CoV is closer to SARS-like bat CoVs. Until now, no promising clinical treatments or prevention strategies have been developed against human coronaviruses. However, the researchers are working to develop efficient therapeutic strategies to cope with the novel coronaviruses. Various broad-spectrum antivirals previously used against influenza, SARS and MERS coronaviruses have been evaluated either alone or in combinations to treat COVID-19 patients, mice models, and clinical isolates. Remdesivir, Lopinavir, Ritonavir, and Oseltamivir significantly blocked the COVID-19 infection in infected patients. It can be concluded that the homologous recombination event at the S protein of RBD region enhanced the transmission ability of the virus. While the decision of bring back the nationals from infected area by various countries and poor screening of passengers, become the leading cause of spreading virus in others countries.

Most importantly, human coronaviruses targeting vaccines and antiviral drugs should be designed that could be used against the current as well as future epidemics. There are many companies working for the development of effective SARS-CoV-2 vaccines, such as Moderna Therapeutics, Inovio Pharmaceuticals, Novavax, Vir Biotechnology, Stermirna Therapeutics, Johnson & Johnson, VIDO-InterVac, GeoVax-BravoVax, Clover Biopharmaceuticals, CureVac, and Codagenix. But there is a need for rapid human and animal-based trails as these vaccines still require 3–10 months for commercialization. There must be a complete ban on utilizing wild animals and birds as a source of food. Beside the development of most efficient drug, a strategy to rapidly diagnose SARS-CoV-2 in suspected patient is also required. The signs and symptoms of SARS-CoV-2 induced COVID-19 are a bit similar to influenza and seasonal allergies (pollen allergies). Person suffering from influenza or seasonal allergy may also exhibit temperature which can be detected by thermo-scanners; hence the person will become suspected. Therefore, an accurate and rapid diagnostic kit or meter for detection of SARS-CoV-2 in suspected patients is required, as the PCR based testing is expensive and time consuming. It is appreciable that the Chinese health workers have efficiently controlled the outbreak in china and limited the mortality rate to less than 3% only. The therapeutic strategies used by Chinese healthcare authorities, should also be followed by other countries (Shereen et al., 2020).

There is no available vaccine against COVID-19, while previous vaccines or strategies used to develop a vaccine against SARS-CoV can be effective. Recombinant protein from the Urbani (AY278741) strain of SARS-CoV was administered to mice and hamsters, resulted in the production of neutralizing antibodies and protection against SARS-CoV (Bisht et al., 2005; Kam et al., 2007). The DNA fragment, inactivated whole virus or live-vectored strain of SARS-CoV (AY278741), significantly reduced the viral infection in various animal models (Bukreyev et al., 2004). Different other strains of SARS-CoV were also used to produce inactivated or live-vectored vaccines which efficiently reduced the viral load in animal models. However, there are few vaccines in the pipeline against SARS-CoV-2. The mRNA based vaccine prepared by the US National Institute of Allergy and Infectious Diseases against SARS-CoV-2 is under phase 1 trial (McKay, (2020). INO-4800-DNA based vaccine will be soon available for human testing (Inovio, 2020). Chinese Centre for Disease Control and Prevention (CDC) working on the development of an inactivated virus vaccine (Lee, 2020; Cheung, 2020). Soon mRNA based vaccine's sample (prepared by Stermirna Therapeutics) will be available (Xinhua. (2020). GeoVax-BravoVax is working to develop a Modified Vaccina Ankara (MVA) based vaccine (Geovax and bravovax , 2020). While Clover Biopharmaceuticals is developing a recombinant 2019-nCoV S protein subunit-trimer based vaccine (Clover, 2019).

## Current Situation of Coronavirus Disease: COVID-19

On 30 December 2019, an uncommon pneumonia outbreak of unknown aetiology was reported in Wuhan, Hubei province, China (WHO,2019). Virus isolation and molecular analysis indicated a novel coronavirus (family Coronaviridae) provisionally named 2019-nCov (Huang et al., 2019). The International Committee on Taxonomy of Viruses (2020) later designated the virus as ‘severe acute respiratory syndrome coronavirus 2’ (SARSCoV-2) and the World Health Organization (WHO) officially named the associated disease coronavirus disease 2019 (COVID-19)

A novel coronavirus, designated as 2019-nCoV, emerged in Wuhan, China, at the end of 2019. As of January 24, 2020, at least 830 cases had been diagnosed in nine countries: China, Thailand, Japan, South Korea, Singapore, Vietnam, Taiwan, Nepal, and the United States. Twenty-six fatalities occurred, mainly in patients who had serious underlying illness. Although many details of the emergence of this virus — such as its origin and its ability to spread among humans — remain unknown, an increasing number of cases appear to have resulted from human-to-human transmission. Given the severe acute respiratory syndrome coronavirus (SARS- CoV) outbreak in 2002 and the Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) outbreak in 2012, 2019-nCoV is the third coronavirus to emerge in the human population in the past two decades — an emergence that has put global public health institutions on high alert.

China responded quickly by informing the World Health Organization (WHO) of the outbreak and sharing sequence information with the international community after discovery of the causative agent. The WHO responded rapidly by coordinating diagnostics development; issuing guidance on patient monitoring, specimen collection, and treatment; and providing up-to- date information on the outbreak. Several countries in the region as well as the United States are screening travelers from Wuhan for fever, aiming to detect 2019-nCoV cases before the virus spreads further. Updates from China, Thailand, Korea, and Japan indicate that the disease associated with 2019-nCoV appears to be relatively mild as compared with SARS and MERS.

Coronaviruses make up a large family of viruses that can infect birds and mammals, including humans, according to world health organization (WHO). These viruses have been responsible for several outbreaks around the world, including the severe acute respiratory syndrome (SARS) pandemic of 2002–2003 and the Middle East respiratory syndrome (MERS) outbreak in South Korea in 2015. Most recently, a novel coronavirus (SARS-CoV-2, also known as COVID-19) triggered an outbreak in China in December 2019, sparking international concern. While some coronaviruses have caused devastating epidemics, others cause mild to moderate respiratory infections, like the common cold.

COVID-19 epidemic is the major global health disaster today and the supreme challenge to the universe. Ideally, COVID-19 is an enclosed RNA virus that is distinctly present in people and animals. The virus belongs to the Nidovirales order that consists of families, namely, Roniviridae, Arteriviridae, and Coronaviridae (Hassan, et al., 2020; Singhal, 2020).

At the same time, the Coronaviridae family is divided into two, which include Torovirinae and Coronavirinae. Further, the Coronavirinae subfamily is classified as into alpha-, beta-, gamma-, and delta- COVs (Hassan, et al., 2020). These viruses have virus-related RNA genome that measures from 26 to 32 kilobases in dimension, and this makes it possible to isolate them from different animal species. Moreover, the coronaviruses can be seen under the electron microscope as it possesses a crown-like appearance. Ideally, the extensive spreading and associated health risks of the disease make it an essential pathogen. Primarily, human types of coronavirus are linked to minor clinical symptoms. Simultaneously, the World Health Organization (WHO) have conducted studies and lab research to identify the new strain of COV, designated as COVID-19 (Anjorin, 2020; Huamán-Saavedra, 2020). On the other hand, the International Committee on Taxonomy of Viruses referred to the disease-causing virus as the SARS-CoV-2 virus.

As a result, the way the illness spread from person-to-person has made it a public threat (Wang and Enilov, 2020). In this case, COVID-19 is extremely transmissible, and this calls for the need to understand its epidemiology, transmission, clinical features, diagnosis, treatment, and prevention so as to gain insight about the disease.

COVID-19 outbreak has challenged almost all sectors due to the spread of the disease at an alarming rate across the globe. Notably, COVID-19 is an RNA virus that poses a threat to public health. Currently, the disease has caused thousands of infections and deaths. Ideally, the rapid spread of the ailment calls for strong investigation and isolation protocols to avert additional spread. Fundamentally, no confirmed medicine or vaccine has been created to improve the health of patients with the condition. Therefore, individuals need to take measures such

as isolation, proper ventilation, hand hygiene and use of personal protective equipment, mainly surgical masks, eye protection, gloves, and gowns to safeguard themselves from the disease.

Coronaviruses are a group of enveloped viruses with no segmented, single-stranded, and positive-sense RNA genomes. Apart from infecting a variety of economically important vertebrates (such as pigs and chickens), six coronaviruses have been known to infect human hosts and cause respiratory diseases. Among them, severe acute respiratory syndrome coronavirus (SARS-CoV) and Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) are zoonotic and highly pathogenic coronaviruses that have resulted in regional and global outbreaks. Coronaviruses possess a distinctive morphology, the name being derived from the outer fringe, or “corona” of embedded envelope protein. Members of the family *Coronaviridae* cause a broad spectrum of animal and human diseases. Uniquely, replication of the RNA genome proceeds through the generation of a nested set of viral mRNA molecules. Human coronavirus (HCoV) infection causes respiratory diseases with mild to severe outcomes. In the last 15 years, we have witnessed the emergence of two zoonotic, highly pathogenic HCoVs: severe acute respiratory syndrome coronavirus (SARS-CoV) and Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV). Replication of HCoV is regulated by a diversity of host factors and induces drastic alterations in cellular structure and physiology.

### Transmission

COVID-19 can be transmitted through direct exposure to infected animals, human-to-human, and environmental contamination. Firstly, the initial cases of COVID-19 are associated with direct contact to infected animals and this was experienced at the seafood marketplace in Wuhan, China (Singhal, 2020). Moreover, the virus can spread from one person to another, and this is considered to be the main form of transmission (Aluga, 2020). It is that the interaction with those with the disease can lead to getting the ailment as spreading happens from the release of respiratory droplets, mainly through coughing. Therefore, close contact with individuals with COVID-19 can result in transmission. In some instances, there is a possible spreading in closed areas because of raised aerosol concentrations (Anijorin, 2020). Several studies support that the COVID-19 virus has a development period of two to fourteen days (Hassan, et al., 2020). Equally important, the virus can spread through touching contaminated surfaces. This happens when it touches these surfaces and then transfer the virus to mucous membranes in the upper parts of the body, especially mouth, eyes, or nose (Harapan, et al., 2020). It implies that the virus remains active in surfaces that individuals are likely to touch on a daily basis. As a matter of fact, environmental contamination is more likely to be a possible source of infection in environments where there is heavy viral contamination, mainly in an infected person's household (Harvey, 2020). As research is done in Singapore reveals that viral RNA is detected on nearly all surfaces, such as handles, light switches, toilet bowl, and bed and handrails (Singhal, 2020). Necessarily, COVID-19 can persist in surfaces as it has been tested and confirmed that this virus may persist on inorganic surfaces for up to six to nine days without disinfection (Alatrany, 2020). Hence, COVID-19 can be transmitted in different ways, and this calls for the need for individuals to be aware of its transmission so as to keep themselves safe all the time.

### Treatment and Prevention

Coughing and sneezing without covering the mouth can disperse droplets into the air. Touching or shaking hands with a person who has the virus can pass the virus between individuals. Making contact with a surface or object that has the virus and then touching the nose, eyes, or mouth. Some animal coronaviruses, such as feline coronavirus (FCoV), may spread through contact with feces. However, it is unclear whether this also applies to human coronaviruses. The National Institutes of Health (NIH) suggest that several groups of people have the highest risk of developing complications due to COVID-19. These groups include: (i) Young children, (ii) People aged 65 years or older, (iii) Women who are pregnant

Coronaviruses will infect most people at some time during their lifetime. Coronaviruses can mutate effectively, which makes them so contagious. To prevent transmission, people should stay at home and rest while symptoms are active. They should also avoid close contact with other people. Covering the mouth and nose with a tissue or handkerchief while coughing or sneezing can also help prevent transmission. It is important to dispose of any tissues after use and maintain hygiene around the home.

The initial step in treating those suspected to have COVID-19 is adequate isolation in order to prevent spread to other contacts, clients, and healthcare providers (Prem, et al., 2020). The mild disease should be administered at home through staying hydrated, proper nutrition, monitoring fever and cough (Huamán-Saavedra, 2020).

Besides, the repetitive usage of antibiotics and antivirals, mainly oseltamivir, should be evaded among those with COVID-19 symptoms (Padron, 2020). This portrays that there is no specific treatment for this ailment.

Since there is no precise treatment for this disease, prevention is critical. In the first place, isolation of the suspected cases with the minor disease at home is suggested (Escher, 2020). Again, proper ventilation with good sunlight to destroy the virus is recommended at home (Kumar and Agarwal, 2020). Further, individuals suspected to have the disease should be asked to wear a surgical mask and to rehearse cough hygiene (Li and Wang, 2020). Primarily, healthcare workers should wear a surgical mask when in the same area as a client and utilize hand hygiene in every 15 minutes. This is because the most significant risk of the

Prevention and Prophylaxis of SARS-CoV-2 Infection:

- *The COVID-19 Treatment Guidelines Panel (the Panel) recommends against the use of any drugs for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) pre-exposure prophylaxis (PrEP), except in a clinical trial (AIII).*
- *The Panel recommends against the use of hydroxychloroquine for SARS-CoV-2 post-exposure prophylaxis (PEP) (AI).*
- *The Panel recommends against the use of other drugs for SARS-CoV-2 PEP, except in a clinical trial (AIII).*
- *The Panel recommends that health care providers follow recommendations from the Advisory Committee on Immunization Practices when using SARS-CoV-2 vaccines (AI).*

Rating of Recommendations: A = Strong; B = Moderate; C = Optional

Rating of Evidence: I = One or more randomized trials without major limitations; IIa = Other randomized trials or subgroup analyses of randomized trials; IIb = Nonrandomized trials or observational cohort studies; III = Expert opinion

### Impact COVID-19: Water sector in MENA cope with COVID-19

As of December 2020, the Middle East and North Africa (MENA) region have reported more than 3.2 million confirmed cases of SARS-CoV-2 and 55 000 deaths from COVID-19. The Institute for Health Metrics and Evaluation noted a threefold increase in the number of deaths in the region between September and December 2020, with COVID-19 projected to become the fourth leading cause of death by early 2021. Yet significant discrepancies in both indicators and quality of data reported across the MENA region limit our understanding of the scope and the implications of the pandemic in the Arab context. The MENA region is distinctly conflict-affected and displacement-affected, which may foster unique vulnerabilities to SARS-CoV-2 transmission and illness severity. Low testing rates, limited data on excess mortality and poor vital registration systems, which are further weakened in the context of chronic political unrest, all contribute to consistent under-reporting in the region.

The COVID-19 pandemic exemplifies long-standing underinvestment and undervaluation of routine sources of data, a paucity of available disaggregated data and challenges to data sharing across several countries of the MENA region, notably those that are long stricken by conflicts and displacement. The COVID-19 pandemic should serve as an impetus for more comprehensive, robust, disaggregated and publicly available evidence, and this can be addressed through prioritized governmental expenditure and use of available digital technologies. Comprehensive and reliable data are essential in understanding the implications of the health crises, generating meaningful epidemiological research and developing prompt and contextualized responses.

In order to develop a timely and context-informed response to the pandemic and more recently to the vaccination statistics, publicly available and disaggregated data are critical to identify health needs and interpret the impact of the region's competing crises of protracted wars, forced displacement and economic decline on already fragile health systems and poor resource availability. At present in the MENA region, as elsewhere, data sources for COVID-19 cases have primarily been limited to government reporting of daily aggregates of incidence, morbidity and mortality counts. There are, however, notable yet limited exceptions, with some Arab countries sharing more granular data.

The MENA region is home to the world's largest population of forcibly displaced persons, data on COVID-19 morbidity and mortality among internally displaced and refugee populations are lacking in all countries except for Iraq. This paucity of regional data on refugees is not unique to the pandemic. Indeed, the lack of integrated monitoring systems, the scarcity of disaggregated data on risk factors, incidence and mortality among displaced populations and refugees in camps and in host communities, as well as the suboptimal sharing and use of primary data by service organizations are only some of the obstacles to achieving an effective and evidence-informed

response to this humanitarian crisis. Consequently, health policy decisions pertaining to refugees are often not data-driven, which is particularly dangerous during a pandemic.

The COVID-19 pandemic calls for strong and prioritised public investment in data infrastructure in the MENA region—a push forward that balances public health needs with concerns for data privacy and confidentiality. The COVID-19 ‘infodemic’, likely made worse in the MENA by decades of distrust in government leadership and public institutions, poses significant health risks, particularly amid the current new variants and waves of the virus as well as large-scale vaccination campaigns. This misinformation can only be addressed with unified, transparent public health messaging informed by accurate and reliable data. More than ever, solidarity and integrative approaches are needed to build regional and national health data systems that would outlast the current pandemic. COVID-19 provides such an imperative.

The MENA regions is already the world’s most water-stressed region, with more than 60% of the population concentrated in places affected by high surface water stress. Therefore, this rises in the demand for handwashing could exacerbate the region’s water insecurity by raising water consumption by up to five percent, or by an additional 4-5 million m<sup>3</sup>/day, which could cost between \$150 - \$250 million per month. Added to this existing challenge, COVID-19 pandemic has added an additional dimension with a range of social and economic impacts, putting substantial constraints on WASH services on a daily basis in the region in places like Yemen, for example. Restrictions on the entry of materials, price increases, lack of supplies, and a smaller available workforce leads to a decrease in access and use of WASH services. Poorer hygiene practices follow, further exacerbating the spread of COVID-19.

### Seeking water security beyond COVID- 19 in MENA regions

The Middle East and North Africa (MENA) is the most water-scarce region of the world, and water security is under mounting pressure from multiple directions. Home to 6.3 percent of the world’s population, the region contains only 1.4 percent of the world’s renewable fresh water. As population pressures in the region increase, the demand for water resources rises. This brief examines the challenges of meeting this demand given scarce water resources. Country strategies to deal with water shortages depend on local conditions, including topography, the extent of water scarcity, available financial resources, and technical and institutional capacity. Overall, developing a mix of strategies that increase supply, manage demand, and reduce long-term pressures on water is urgent more than ever before, as population pressures in the region continue to increase.

The region is struggling under the COVID-19 pandemic, which has created additional strain on water availability. The COVID-19 pandemic has given the global community reason to pause and reflect on what is meant by resilience and sustainability. What does the future hold and how will our global systems fare when the next crisis hits?

COVID-19 has cast a deep shadow over water security in the Middle East and North Africa (MENA) region. MENA is already the most water scarce region in the world, a problem deeply affecting both its society and economy. The impact of the pandemic, part of which is an increase in water demand, brings into sharp relief the many problems faced by countries in the region. These include more interruptions to water supplies, large inequality of access to water, poor water quality and deteriorating water infrastructure.

Water in the MENA region is highly interlinked with economic growth, conflict, migration, employment, and human rights; all of which are shaped by the management and access to water resources. Indeed, 60% of the region’s population live in areas of high-water stress, compared to only 35% for the global average, and 70% of its GDP is also generated in such areas, compared to a global average of 22%. Yet nowhere else in the world is water managed so unsustainably. From expensive and energy intensive practices, to poor and wasteful ones with high levels of water use that generates no revenue, the MENA region is plagued by an overall water insecurity problem with significant competition for water between economic sectors.

In early July 2020, the Middle East and North Africa (MENA) region passed a grim milestone, recording more than one million cases of COVID-19. Handwashing with soap and water is critical and one of the most effective measures in preventing the spread of the virus. But while the region has made strides in achieving access to water, sanitation and hygiene (WASH), 13% of the population – over 74 million people – still lack access to handwashing facilities, and another 87 million people lack access to improved water sources in their homes. This forces them to congregate at crowded public sources to collect water, immediately increasing the risk of contracting the virus. Refugees and internally displaced persons (IDPS) in the region are also particularly vulnerable to the virus; 26 million of them have no adequate WASH services.

The region is already the world's most water-stressed region, with more than 60% of the population concentrated in places affected by high surface water stress. Therefore, this rises in the demand for handwashing could exacerbate the region's water insecurity by raising water consumption by up to five %, or by an additional 4-5 million m<sup>3</sup>/day, which could cost between \$150 - \$250 million per month.

Added to this existing challenge, COVID-19 pandemic has added an additional dimension with a range of social and economic impacts, putting substantial constraints on WASH services on a daily basis in the region in places like Yemen, for example. Restrictions on the entry of materials, price increases, lack of supplies, and a smaller available workforce leads to a decrease in access and use of WASH services. Poorer hygiene practices follow, further exacerbating the spread of COVID-19.

In order to alleviate the severity of the impact of the pandemic, immediate technical, material and financial inputs must be provided to sustain access to WASH commodities and the continuity of WASH services in places like Iraq for example.

After assessing the importance of water on the coronavirus response and the impact of the pandemic on the water sector in MENA, the World Bank developed a multi-phase approach to support its clients in the region – this includes, in the short-term, ensuring access to essential WASH services for all, especially those living in areas affected by fragility, conflict and violence (FCV); continuity of service provision, improving performance of service providers, building more resilient water and sanitation systems in the medium term; and long-standing reforms by strengthening the financial and operational sustainability of utilities and promoting water-use efficiency (including increasing the low 18% of water reuse that the region has), in the long-term.

The World Bank Group is also moving quickly to provide fast, flexible responses at the country-level to help governments and water utilities contain the spread and impact of COVID-19. While the immediate concern is a focus on emergency WASH response and water availability, the goal will be a more sustainable, resilient recovery in the water sector. Below are some specific WASH-related actions being taken in MENA countries:

*In Morocco*, the Bank is helping improve hygiene and water availability, conduct epidemiological studies of wastewater as a tool for early warnings, strengthen data collection systems, secure financial sustainability of utilities, explore new funding avenues, including further private sector engagement with our colleagues from IFC, and advocate for water sector and leveraging other donors' support.

*In Algeria*, the Bank is assessing the impact of COVID-19 on the water sector to be included in a country engagement note. We are also preparing a project financed by the COVID-19 Fast Track Facility to support the country's efforts to prevent, detect and respond to the threat posed by COVID-19 and strengthen systems for public health preparedness.

*In Tunisia*, the irrigation project was restructured to reallocate €13 million to COVID-19 emergency response component for medical supplies, equipment and personal protective equipment and disbursed in record time. An emergency Development Policy Financing included support for the two state owned enterprises in the country in both water and sanitation. The assessment of the economic impact on the Tunisian economy of supply and demand shocks caused by the containment measures applied to slow the spread of COVID-19 shows significant effects. The effect of the containment measures put in place by the Tunisian authorities – with 6 weeks of general confinement with full lockdown of economic activity and 6 weeks of partial lockdown – costs a loss of growth to the economy that is estimated at 3.8 percent if the crisis duration is one month and 11.6 percent if three months, equivalent to TND 4.0 and 12.2 billion, respectively.

*In Egypt*, as part of the PforR for rural sanitation, COVID-related awareness materials focusing on Information-Education-Communication (previously coordinated with UNICEF) were disseminated to utilities.

*In Iraq*, \$20 million was reallocated from the water resources component to a health component through project restructuring on an urban project

*In Jordan*, a \$20 million COVID-19 Fast Track multi-phase programmatic approach (MPA) response project was approved in May 2020 to support the design and implementation of effective public health measures to prevent contagion and will support the development and implementation of associated communication and behavior change interventions to support key prevention behaviors, such as hand-washing and social distancing, which besides helping contain the spread of COVID-19 helps against the spread of other climate-related conditions and water- or food-borne diseases.

In order to tackle COVID-19, countries in MENA will have to address the water crisis and as the World Bank Group we have an opportunity at hand here. An effective emergency WASH response, regional cooperation on transboundary waters (60% of the water is shared in MENA), and a long-term strategy for a sustainable recovery

in the water sector will be key in moving past this crisis to build resilience for the future and inclusive growth for the youth and women in the region.

COVID-19 has cast a deep shadow over water security in the Middle East and North Africa (MENA) region. MENA is already the most water scarce region in the world, a problem deeply affecting both its society and economy. The impact of the pandemic, part of which is an increase in water demand, brings into sharp relief the many problems faced by countries in the region. These include more interruptions to water supplies, large inequality of access to water, poor water quality and deteriorating water infrastructure.

The pandemic is making a bad situation even more complicated. It's expected that an additional 8.3 million people will fall into poverty in the Arab region as a result of COVID-19, that's on top of 101 million people in the region already classified as poor (with 52 million estimated as undernourished). Water insecurity in particular threatens the peace and stability of the region.

There are three growing pressures threatening the water security of the MENA region. The first is population growth. The Arab population has tripled since 1970, increasing from 128 million to 436 million in 2020. This is exacerbated by an influx of displaced people from surrounding countries.

Second is climate change, bringing with it greater climate variability, and more frequent and severe droughts and floods. This multiplies the stress created by chronic water scarcity.

The third pressure relates to conflict and fragility in the region increasing the unreliability of water sources, further multiplying the risks from water scarcity.

All three pressures have a fundamental impact on the vulnerability of water resources, socio-economic development and the way water is managed and financed. And the potential exists for the problem of water scarcity to flower into a major water crisis. If water infrastructure becomes seriously deteriorated, or institutions are weakened to the point where water utilities are unable to deliver basic water services and or manage water-related hazards, there is the growing possibility of riots, migration, and loss of life.

Governments in the MENA region have rapidly reacted to contain the Coronavirus (COVID-19), by developing massive policy and institutional plans to support households and firms. Strict containment measures helped to limit the first wave and were gradually lifted from June onwards. But since then, the situation appears to be diverging: while the Gulf countries seem to have flattened the infection curve so far, the sanitary situation appears much more fragile elsewhere in the region. The crisis will be a critical test for the region's fragile resilience, and could erode dramatically its prosperity and challenge its political stability if risks materialize, for MENA economies and societies alike. Countries may want to capitalize on their innovative policy efforts to improve inclusiveness, sustain welfare provisions, and promote a structural reform agenda for more open and private sector-led economies, aligned with the Sustainable Development Goals. This update includes the latest analysis on the economic and social consequences of the crisis, including new sections on the fiscal and educational challenges, as well as insights on the resilience of the healthcare system.

More than 2.2 million COVID-19 infections have been registered in the MENA region (including Iran, where more than 26,000 people have already died and infection rates continue to surge). Among Arab economies, Iraq has the most confirmed cases, followed by Saudi Arabia and Morocco.

Despite varying levels of health system preparedness across the region, MENA countries' overall health management strategies – characterized by strict containment measures implemented in the very early stages of the outbreak – have proven efficient in limiting human losses and the spread of the pandemic in the region. Following a prudent de-confinement process engaged from May to August, mainly easing restrictions on movement, re-opening of borders and economic activities, new infections have been flattened in the Gulf countries. Unfortunately, an emerging second wave is currently affecting the Maghreb and the most fragile countries in North Africa and the Levant, some of which have re-established stricter measures (local lockdowns, school closures) to contain the virus from spreading too rapidly again. The situation is particularly worrying in Lebanon, which has recorded a continuous increase in cases since the blast that hit the port of Beirut on 4 August, while economic pressures are affecting compliance with lockdown measures.

The pandemic is challenging MENA medical systems, some of which are particularly weak and overcrowded. The situation is, obviously, not the same for the richer Gulf countries, the developing economies in the Levant or North-Africa, or in fragile and conflict-affected countries such as Iran, Syria, Iraq, the Palestinian Authority, Yemen and Libya, where the lack of hospital beds and testing capacities is a cause of concern. The first wave has left public hospitals and their personnel exhausted in Lebanon, Morocco or Tunisia, and has severely impacted public trust on the credibility of official figures and the overall management of the crisis. On the other hand, some countries have adopted rapid, decisive and/or innovative measures to contain the virus, such as the smooth

crisis management developed by Jordan, virtual doctors and sanitising robots in the UAE, or ramping up domestic masks and test production in Morocco. Healthcare co-operation and innovation was also considerably boosted, in particular in the area of vaccine research. This highlights the significant differences in between countries in terms of their capacity to react on the healthcare side.

The crisis is also testing the public sector, forcing governments to make quick decisions, manage crisis co-ordination and implement drastic measures to protect communities at risk. Many administrations have demonstrated strong capacity to mobilize and implement prevention measures, while preparing for stimulus packages to support households and firms. This crisis emphasizes the importance of underlying structural issues, such as transparency and the fight against corruption, effective public procurement, the maturity of digitalization and open government approaches, as well as a strengthened role for civil society. Governments' willingness to collaborate with civil society has been key for effective crisis response in many countries. Public governance measures should be used to ensure the continuity of response and essential services by public institutions, while enhancing public sector resilience and adaptability and restoring the population's trust in public institutions. The crisis has underscored the need to accelerate public administration reform to create a more professional, efficient, effective, transparent and user-oriented public sector.

Despite the large fiscal packages announced in most countries, the pandemic is already causing a dramatic economic cost, with both a negative demand/supply shock and a shock from the collapse of oil prices. As countries have taken a series of containment measures limiting transportation and economic activity, these are strongly weighing on the ability of people to go to work and on businesses to continue contributing to the economy. At the same time, the region suffers from a drop in demand at the regional and at global levels, while most supply chains are disrupted. The effects of containment measures on the services sector, which employs a large number of people in the region (in particular in the tourism industry), will cause wide reverberations if unemployment rises and wages and remittances fall. Further, bottoming crude oil prices have put additional strain on even the region's wealthiest countries, through reduced investments from Gulf countries, which are the largest investor in the region, as well as substantial lower remittances from Gulf countries and work opportunities in the richer GCC region for nationals of other MENA countries. Overall, the region could lose about USD 42 billion of GDP this year.

It will be critical to monitor the social consequences of the crisis, especially for the most vulnerable (women, youth, elderly, informal workers, refugees). While welfare provisions and social safety nets were often considerably expanded, the United Nations Economic and Social Commission for West Asia (UNESCWA) estimates that the economic slowdown caused by the pandemic will cause an additional 8.3 million people to fall into poverty<sup>4</sup>. The pandemic might dramatically increase inequalities. School closures risk weighing on the future development of MENA societies. In light of their demographic weight in the region, ensuring that all young people have the opportunity to succeed at school and develop the knowledge, skills, attitudes and values that will allow them to contribute to society should stand high on the recovery agendas.

The impact of the COVID-19 is testing the region's fragile resilience. It may further exacerbate regional competition and political instability as well as fragility in some cases. The outbreak of the virus has indeed impacted political developments within MENA economies, and their capacity to restore and support their social contracts is being increasingly questioned. Demonstrations in Algeria and Lebanon have been put to a halt due to the sanitary crisis. Hit by a cataclysmic blast at Beirut' main port and daily spikes in COVID-19 cases, Lebanon is crippled by the impact of multiple shocks which have exhausted its economy and caused an unprecedented poverty increase, where more than 55% of the country's population is now trapped in poverty and struggling for bare necessities, as per UNESCWA. In fragile and conflict-affected countries, economic reconstruction plans will need to materialize to provide for minimum levels of stability.

Like for OECD countries, the crisis could, still, offer an opportunity to engage in a comprehensive reform agenda addressing some of the region's underlying structural issues (decentralization, private sector development, social protection) and supporting a more inclusive growth model (economic diversification, health and education spending, industrial innovation and participation in regional value chains), building on all segments of the society. Success stories at the national level should be recognized and made widely known. The pandemic is a call to renew the commitment to the Sustainable Development Goals. Looking ahead, in a region with very heterogeneous situations for the capacity of the civil society to operate with autonomy, it will be important to monitor the impact of the pandemic on the rule of law and governance frameworks. Indeed, new laws and controls put in place to contain the pandemic may have long-term negative effects on the space in which the

civil society operates. In a moment where the contribution of all to face the unprecedented economic and social challenges is more necessary than ever, empowering people remains critical.

The MENA economies made important efforts to address the COVID-19 health crisis early on. Following the outbreak of the pandemic, most countries declared a state of national emergency, closed their borders to foreigners and imposed strict containment measures including mandatory self-isolation, restricted movement for citizens and curfews. Notably, many countries did not wait to have confirmed cases to start imposing movement restrictions and social distancing measures. Saudi Arabia, for instance, suspended pilgrimages to Mecca and Medina and barred access to religious sites in the two cities as early as February. In Tunisia, thermal cameras for fever screening were installed in airports and at border crossings with neighboring countries as early as January 20th (while first confirmed cases were only in March).

In other fragile and conflict-affected countries, the COVID-19 outbreak poses a major challenge given damages to health systems. In emergency settings, where availability of water, sanitation and hygiene (WASH) services is scarce, applying preventive measures to limit the spread of the disease has proved difficult. Countries where healthcare facilities have been partially destroyed during the war and governance remains extremely fragile and uncoordinated in certain areas, and lack the necessary capacity to respond to the crisis in terms of medical facilities, equipment and personnel. In Syria, the WHO estimates that 70% of health care workers have left the country as migrants or refugees, while only 64% of hospitals and 52% of primary health care centres remain fully operational. One possible explanation for the low number of COVID-19 cases reported in these countries at the beginning of the pandemic is the fact that, due to lack of bed capacity or difficulty to reach hospitals, people often die at home. In addition, the lack of testing capacity has resulted in months of under-reporting, in particular in Syria and Yemen. The situation has worsened over the summer, with numbers of COVID-19 cases and related deaths rapidly growing. At the same time, enforcement of containment measures has proved difficult in the context of already fragile economic situations, which cannot afford the necessary restrictions to limit the spread of the virus.

Environmental health considerations related to the COVID-19 pandemic are particularly relevant for MENA countries. Water scarcity and lack of access to clean water and sanitation as well as poor waste management (including on hazardous waste e.g. bio-medical and health-care waste) in MENA countries and especially in their less well-off segments of society, in conflict-affected territories and the refugee camps can accentuate the impact of pandemics. Furthermore, confinement measures can result in increased exposure to indoor air pollution, particularly for people relying on polluting fuels for cooking and heating in poorer MENA countries and for buildings lacking, or with poor, ventilation systems. A healthy environment not only reduces the vulnerability of communities to pandemics, but has the potential to boost economic activity, create jobs and reduce inequalities. While the current focus is rightly on addressing the immediate health crisis and the economic recovery measures caused by COVID-19, the MENA governments should not undermine the action needed to limit the threats from climate change, water scarcity, water and air pollution, soil degradation, desertification and biodiversity loss. These threats are on a different time scale, but could also seriously destabilize MENA societies and economies.

As the crisis evolves around the world, MENA governments should ensure that their stimulus measures and policy responses are aligned with ambitious climate change and wider environmental protection goals. They should systematically evaluate possible unintended negative environmental impacts of new short-term recovery measures (e.g. fiscal and tax provisions), ensure policy coherence and avoid creating perverse and unintended environmental consequences that might damage the future resilience and environmental health of societies.

Many countries around the world are making green measures a central part of stimulus packages in the wake of COVID-19. Stimulus measures could be an opportunity in MENA to invest in the real economic transformations and technological innovations (avoiding greenwashing), such as boosting technologies for solar and wind energy, for smart green cities as well as for seawater desalination projects (powered by renewable energy sources) and developing and greening public transport systems. This could help the Gulf Cooperation Council countries reduce their carbon footprint and energy demand as well as diversify their economy from fossil fuels. Public and private support should be enhanced also for the investments in water and waste infrastructure development and modernization, especially in poorer MENA countries. Enhanced levels of environmental health will strengthen the resilience of societies to pandemics and other emergencies.

MENA governments should make sector-specific financial support measures conditional on environmental improvements where possible. The use of financial support measures such as preferential loans, loan guarantees and tax abatements could be directed towards supporting stronger environmental commitments and

performance in pollution-intensive sectors that may be particularly affected by the crisis. Communication campaigns that underscore the benefits to well-being and prosperity from more resilient societies can strengthen public support for measures aimed at enhancing environmental health.

Water scarcity affects all continents, but the MENA region (Middle East and North Africa) is acutely impacted. The growing effects of climate change also risk further exacerbating challenges on the ground for utilities, customers and businesses. There is an urgent need to address these challenges by working with stakeholders to identify needs and find adaptable and feasible solutions. GWOPA, with the support of the Department of Energy of Abu Dhabi (DoE), conducted a regional consultation with this objective, and findings revealed strong potential for capacity-building initiatives, like WOPs, to bring about transformative change.

More than 50% of the population in the MENA region has little or no access to drinkable water and over 70% of the region's GDP is exposed to high water stress. The region is a global hotspot of unsustainable water use, especially of groundwater, and in some countries, more than half of current water withdrawals exceed what is naturally available. Water utilities face an increasing need to improve the management of water resources and associated infrastructure to face water scarcity. The regional consultation began with an initial Expert Group Meeting in January 2019 to bring together key partners. The EGM recommended the development of an action plan for utility capacity building on water scarcity and highlighted the potential of WOPs as a useful mechanism.

### **The Impact Of COVID-19 On the MENA Regions An Opportunity To Build Back Better**

The COVID-19 pandemic has exposed serious fault lines and vulnerabilities in societies, institutions and economies all around the world. The MENA regions, home to 436 million people (All sources of data are from the United Nations Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA)), indicated., initially kept transmission and mortality rates lower than the global average but more recent trends are cause for concern, especially in light of fragmented health care and insufficient primary care in many countries. The pandemic has also magnified many decades-long challenges. These include violence and conflict; inequalities; unemployment; poverty; inadequate social safety nets; human rights concerns; insufficiently responsive institutions and governance systems; and an economic model that has not yet met the aspirations of all.

International assistance to some of the most vulnerable communities in the MENA region will be of critical importance in the coming months, and given the mounting budgetary constraints worldwide, a reduction in such assistance seems likely. The risk is that the region will explode if basic humanitarian needs cannot be met. This would have very serious security implications for the international community. Medical support will be critical and once treatments or vaccines are available to mitigate the impact of the COVID-19 crisis, these should be made widely available to the people of the region. China has moved proactively on this front by donating substantial supplies of medical equipment to many countries in the region. This is obviously welcome, but some see China's "mask diplomacy" as a prelude to a far more interventionist approach to the region, while the West, preoccupied by its own recovery plans, feels that its own capacity for action is limited.

The basic needs of migrants and refugees living throughout the MENA region cannot be neglected due to the COVID-19 crisis, and these communities will require both local and international support. Their needs must be factored into all recovery plans. Providing medical assistance to IDPs and refugees in conflict-torn regions should remain a priority for the international community. Efforts to address the specific challenges confronted by women in the MENA region stemming from this crisis will be essential. They are most likely to feel the social and economic impacts of the crisis and will need support from their governments and the international community.

Although the MENA region has generally not seen the kind of infection rates that have swept through parts of Asia, Europe, the United States, Brazil, and Russia, it has been particularly vulnerable to the economic fallout from the crisis. While the Arab Spring began at a moment when some economies in the region and particularly those in the GCC were growing, this crisis has struck a more economically and politically fragile region weakened by economic stagnation, energy price instability, war, civil unrest, an influx of refugees and IDPs, and ever more serious climate related difficulties. The MENA region is thus very vulnerable to the public health and economic fallout of this crisis.

Many of the MENA region's countries are not well equipped to manage a pandemic. Health care systems are weak, infrastructure is poor and there are far too few health care givers. Health expenditure levels range between 0.6% of GDP in Yemen to 4.6% in Israel (Talbot, 2020). It is difficult to compare morbidity and case statistics across the region due to significant discrepancies in data collection methods and state capacity. Some countries do not publish morbidity statistics and COVID-19 testing is not uniformly administered throughout the region.

These deficiencies have led to a serious regional transparency problem with adverse public health, social and economic implications (MENA Crisis Tracker). As a general rule, the wealthier countries are far better positioned to generate reliable public health data, administer virus testing and enforce effective public health regulations. The most destabilised countries obviously are in a far worse position. War-ravaged and impoverished Yemen, to take one example of the problem, has simply stopped publishing testing data and there are signs COVID-19 rates in that country are soaring. Syria, the densely populated Gaza Strip and Libya, are very poorly positioned to manage this health crisis.

The number of Covid-19 cases in the Middle East and North Africa (Mena) region crossed 6,079,873 on 15 March, according to Worldometers data collated by MEED.

Countries in the GCC account for about 24 per cent (1,468,901) of all regional cases, and Iran's 1,754,933 confirmed infections make up 29 per cent of the regional 6 million infections.

Since 8 March, 228,329 new Covid-19 cases have been detected in 17 Mena countries tracked by MEED.

Case growth has been driven by countries such as Jordan, where total infections grew from 427,717 on 8 March to 477,053 on 15 March.

Table ..1 Covid-19 in the Middle East and North Africa regions

Covid-19 in the Middle East and North Africa								
Country	Total cases	Total deaths	Active cases	Cases/1m popn*	Deaths/1m popn*	Total tests	Tests/1m popn*	Population
<b>Mena</b>	<b>6,079,873</b>	<b>132,945</b>	<b>586,848</b>	<b>13,388</b>	<b>293</b>	<b>92,985,779</b>	<b>204,762</b>	<b>454,116,727</b>
<b>GCC</b>	<b>1,468,901</b>	<b>11,500</b>	<b>63,107</b>	<b>24,801</b>	<b>194</b>	<b>56,723,416</b>	<b>957,720</b>	<b>59,227,562</b>
Iran	1,754,933	61,330	194,302	20,709	724	11,781,317	139,023	84,743,821
Iraq	758,184	13,751	58,663	18,560	337	7,386,457	180,820	40,849,880
Morocco	488,937	8,723	4,365	13,138	234	5,801,538	155,887	37,216,262
Jordan	477,053	5,346	75,512	46,433	520	5,174,645	503,665	10,273,976
UAE	428,295	1,402	18,808	42,942	141	34,030,998	3,412,008	9,973,893
Lebanon	418,448	5,380	84,362	61,501	791	3,276,627	481,578	6,803,936
Saudi Arabia	382,407	6,567	3,137	10,866	187	14,307,143	406,545	35,192,038
Tunisia	241,834	8,389	25,759	20,313	705	1,034,981	86,936	11,905,088
Kuwait	209,523	1,172	14,179	48,561	272	1,907,214	442,033	4,314,640
Egypt	190,924	11,300	32,390	1,842	109	1,000,000	9,645	103,678,459
Qatar	170,252	266	11,789	60,635	95	1,622,518	577,860	2,807,805
Oman	147,423	1,609	9,044	28,368	310	1,550,000	298,263	5,196,762
Libya	146,080	2,402	10,981	21,060	346	789,394	113,802	6,936,527
Bahrain	131,001	484	6,150	75,183	278	3,305,543	1,897,095	1,742,424
Algeria	115,265	3,036	32,342	2,596	68	N/A	N/A	44,402,668
Syria	16,478	1,099	4,409	926	62	N/A	N/A	17,795,884
Yemen	2,836	689	656	94	23	17,404	575	30,282,664

Source: MEED; Worldometers, 15 Mar 2021; \*popn=population

The number of Covid-19 cases in the Middle East and North Africa (Mena) region crossed 5,466,170 on 22 February, according to Worldometers data collated by MEED.

Countries in the GCC account for 24.7 per cent (1,350,016) of all regional cases, and Iran's 1,582,275 cases alone make up 28.9 per cent of the regional 5.4 million infections (Figure 1)

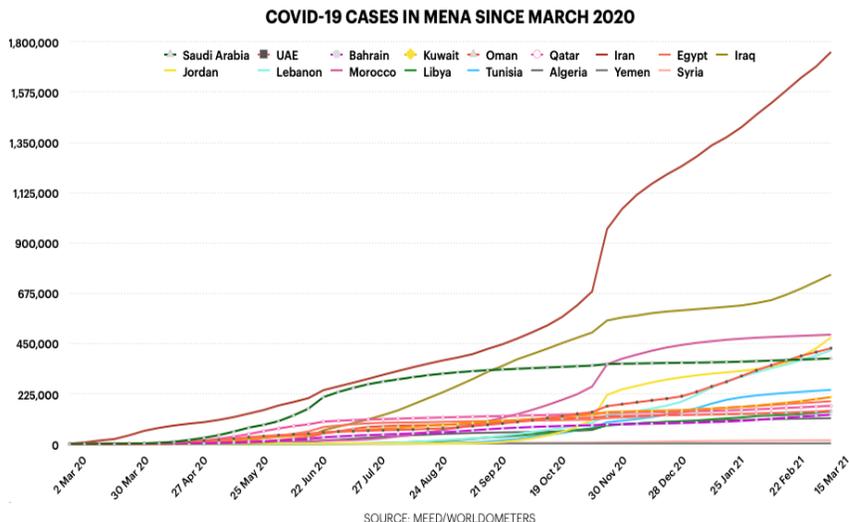
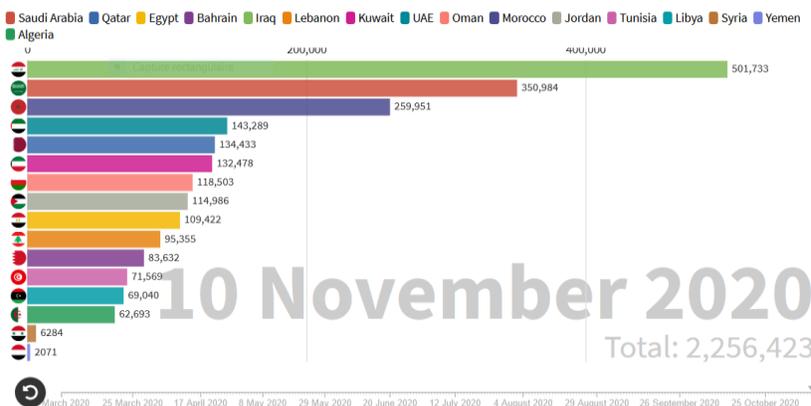


Figure 1. Covid-19 cases in in the Middle East and North Africa regions since March 2020

**MENA COVID-19 CASES SINCE 1 MARCH (EXCLUDING IRAN)**

SOURCE: MEED

Case data: WHO



*Vaccination efforts*

Other countries in the GCC and wider Mena region are also continuing to invest in inoculation campaigns to manage the number of new coronavirus cases.

Saudi Arabia’s Health Ministry said on 14 March that more than 2 million Covid-19 vaccine doses have been administered in the country to date. The kingdom also denied reports claiming it had temporarily suspended the use of the UK’s Oxford-AstraZeneca vaccine, which a ministry spokesperson said was safe to use.

Last week, Oman’s Health Minister Ahmed bin Muhammad al-Saeedi also reiterated the safety of vaccines in use in Oman, adding that the first batch of 200,000 units of the US’ Johnson & Johnson vaccine is scheduled to arrive in the sultanate by the end of June or early July.

In Morocco, the Scientific Advisory Committee last week authorised Johnson & Johnson’s and Russia’s Sputnik-V vaccines for use in the country. Rabat has already secured doses of the Oxford-AstraZeneca and China’s Sinopharm vaccines.

Over the past week, Tunisia has also received its first major delivery of vaccine doses, almost a month later than expected. Health Minister Faouzi Mehdi is understood to have been present for the arrival of the 30,000 Sputnik-V doses in Tunis.

Tunisia has been expecting more than 93,000 doses of the US/German Pfizer-BioNTech and AstraZeneca-Oxford jabs since February, but their delivery was delayed under the UN-led Covax scheme. The country expects to receive additional doses of Russian and Chinese vaccines in the months ahead.

No one yet knows the full impact of the unfolding Covid-19 pandemic, let alone its effects on the MENA region. What is certain is that it will have lasting health, social, economic, and political consequences. The stakes are two-fold: minimising the blow of the crisis in the short term while setting the stage for lessons learnt and better governance policies in the future.

During the reporting period, the number of reported daily COVID-19 cases continued to increase in 16 of the 20 countries in the region. There was nearly a 60 per cent increase in the total number of cases bringing it to 275,208 recorded cases (as of 15 May). In Sudan, the number of cases more than quadrupled during the reporting period (1,964 cases, including 91 deaths in 14 out of 26 states), with possible ongoing “silent” transmission as suggested by the high Case Fatality Rate (CFR). A total lockdown in all local states is now in place. Primary health care centres are operating at very limited capacity, while immunization and bed net campaigns are suspended, further impacting pre-existing vulnerabilities.

The situation continues to be of great concern in Yemen. After a first case reported more than four weeks ago in the North, there was a sharp increase during the reporting period leading to 108 cases (+205% in the last week) and 16 deaths recorded in ten governorates. COVID-19 comes to add to an already fragile and overwhelmed health system.

Iran continues to have the highest number of registered cases and deaths in the region with more than 42 per cent of cases (116,635) and 75 per cent (6,902) of deaths; daily cases continued to re-increase for the second consecutive week (+34% in the last week) two weeks after the easing of restrictions. Meanwhile, Saudi Arabia, UAE, Kuwait and Qatar have recorded more than 500 cases daily and represented 59% of daily cases of the region during the reporting period. A limited number of fatalities was reported in these countries, suggesting strong case management and active contact tracing. A sharp increase in reported cases was recorded in Djibouti (+206%), Lebanon (+72%) and Jordan (+229 %).

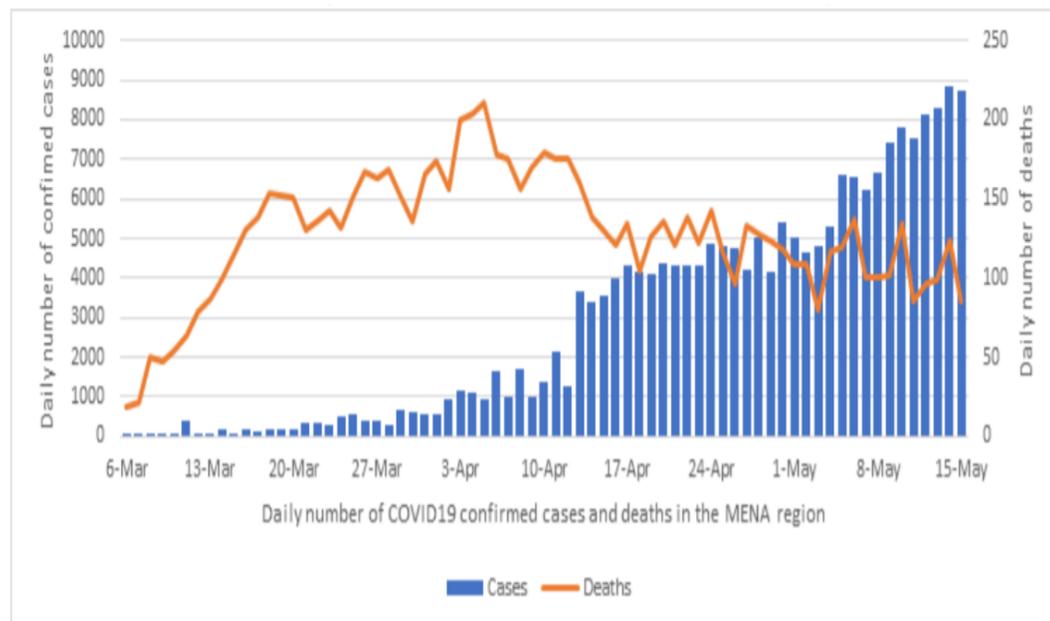


Figure 2 Accumulative number of daily COVID-19 cases and deaths in the MENA region (6 March – 15 May)

## Covid-19 Vaccines in MENA

**Is there a vaccine for Covid-19?** Yes, there are now several vaccines that are in use. The first mass vaccination programme started in early December 2020 and as of and as of 15 February 2021, 175.3 million vaccine doses have been administered. At least 7 different vaccines (3 platforms) have been administered. Vaccination is a simple, safe, and effective way of protecting people against harmful diseases, before they come into contact with them. It uses your body's natural defenses to build resistance to specific infections and makes your immune system stronger. Vaccines train your immune system to create antibodies, just as it does when it's exposed to a disease. However, because vaccines contain only killed or weakened forms of germs like viruses or bacteria, they do not cause the disease or put you at risk of its complications. Most vaccines are given by an injection, but some are given orally (by mouth) or sprayed into the nose.

WHO issued an Emergency Use Listing (EULs) for the Pfizer COVID-19 vaccine (BNT162b2) on 31 December 2020. On 15 February 2021, WHO issued EULs for two versions of the AstraZeneca/Oxford COVID-19 vaccine, manufactured by the Serum Institute of India and SKBio. On 12 March 2021, WHO issued an EUL for the COVID-19 vaccine Ad26.COV2.S, developed by Janssen (Johnson & Johnson). WHO is on track to EUL other vaccine products through June. The products and progress in regulatory review by WHO is provided by WHO and updated regularly (Table 2).

Once vaccines are demonstrated to be safe and efficacious, they must be authorized by national regulators, manufactured to exacting standards, and distributed. WHO is working with partners around the world to help coordinate key steps in this process, including to facilitate equitable access to safe and effective COVID-19 vaccines for the billions of people who will need them.

Similar to many countries within and beyond the MENA region, Morocco, Tunisia, and Jordan only benefited from their strong responses during the initial stage of the outbreak. As the outbreak and associated measures exacerbated their already fragile economies, all three countries eventually came under pressure to strike a balance between easing restrictions to save the economy and limiting the loss of life. As they struggled with mitigating the health and economic dimensions, the medical situation devolved into a worrying and uncontrolled outbreak, stretching the public health sector beyond capacity.

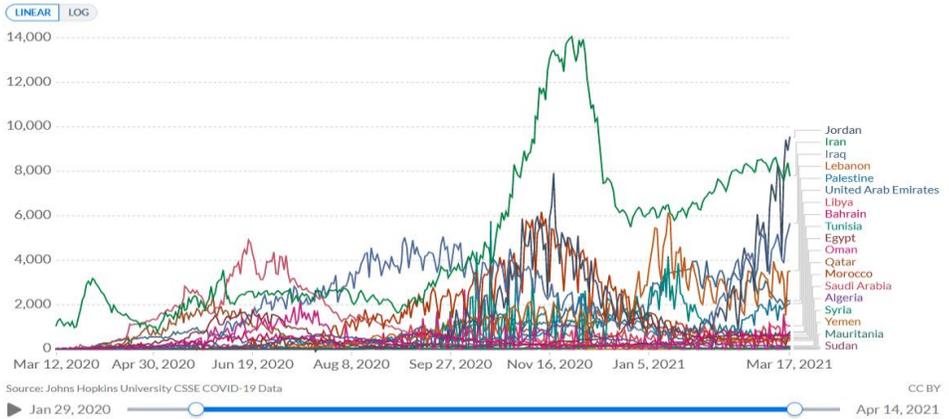
The numbers of infections and deaths spiked between September and January in the three cases, though Morocco has controlled these numbers since January, followed by Tunisia since February (see figure). Infections in Jordan, however, have peaked in March 2021: It reported 9,535 new cases on March 17, compared to 766 in Tunisia and 466 in Morocco (Figure 3).

Today, Morocco, Tunisia, and Jordan hope to contain the outbreak by vaccinating a majority of their populations; they aim to do this in or by the spring of 2021. However, they will face major obstacles, primarily because of vaccine insecurity and uncertainty at a global level, as the difficulty has now shifted from developing successful and safe vaccines to producing and buying them.

In a boost for equitable distribution in Africa, 800,000 doses of the AstraZeneca shots touched down in Khartoum, making Sudan the first country in the Middle East and North Africa region to receive the vaccine, according to a press release from the UN Children's Fund (UNICEF). Djibouti second country in the Middle East and North Africa region to receive COVID-19 vaccines through the COVAX facility. Djibouti is the second country in the Middle East and North Africa (MENA) region, to receive vaccines against COVID-19 following the arrival of a first shipment of AstraZeneca/Serum Institute of India (SII) vaccine at Djibouti International Airport. The vaccines were delivered with UNICEF's support through COVAX, a coalition co-led by the World Health Organization (WHO), Gavi, the Vaccine Alliance, and the Coalition for Epidemic Preparedness Innovations (CEPI) that ensures fair and equitable distribution of COVID-19 vaccines to countries regardless of their income.

Daily new confirmed COVID-19 cases

The number of confirmed cases is lower than the number of actual cases; the main reason for that is limited testing.



Daily new confirmed COVID-19 cases

The number of confirmed cases is lower than the number of actual cases; the main reason for that is limited testing.

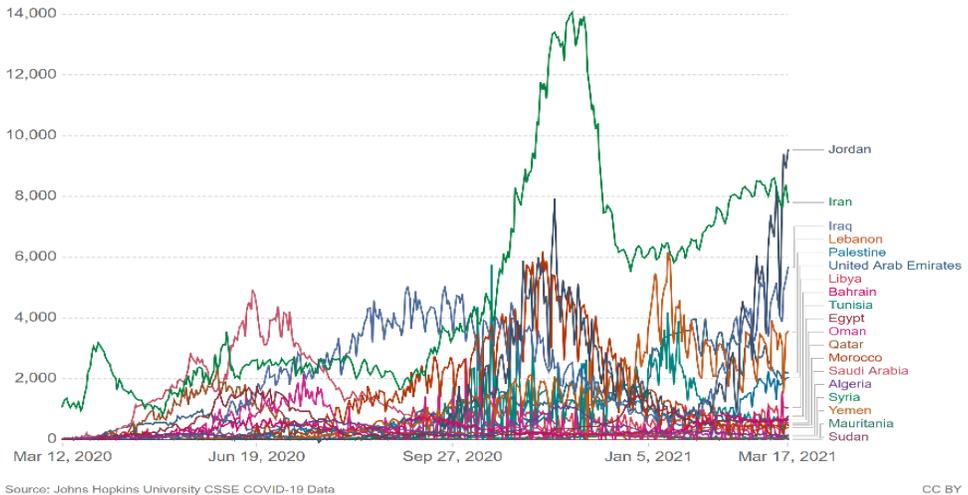


Figure 3. Daily new confirmed COVID-19 cases. The number of confirmed cases is lower than the number of actual cases; the main reason for that is limited testing.

This first shipment of vaccines will support the vaccination of health care workers, people over 50 years of age and people with comorbidities.

Through this contribution and Djibouti's commitment to continue its efforts to curb and end the pandemic, the country aims to ensure the continuity of facilities and access to essential services. The delivery follows the arrival of a quantity of syringes, part of a Gavi-funded and supported global stockpile, that UNICEF delivered on behalf of the COVAX Facility last Saturday 27th February 2021. WHO has worked with national authorities to put a vaccination strategy in place that includes training vaccinators, ensuring vaccine safety, and surveillance for adverse effects.

The COVID-19 vaccines currently being administered, or considered, in the MENA region Vaccines by six developers – Sinopharm, Sinovac, Pfizer-BioNTech, Moderna, Oxford-AstraZeneca, and Sputnik V (Gamaleya Research Institute) – are the ones doing the rounds in the region.

A number of COVID-19 vaccines have been approved for general or emergency use in the Middle East and North Africa (MENA). Now, using data collated by the Vaccine Centre at the London School of Hygiene &

Tropical Medicine, along with various regional government media statements, we bring you a roundup of the actual COVID-19 vaccines currently circulating in the MENA. The most common ones at the moment, in no particular order, are by Sinopharm, Sinovac, Pfizer-BioNTech, Moderna, Oxford-AstraZeneca, and Sputnik V (Gamaleya Research Institute).

## References

- [1] Abouzzohour, Yasmina, “The coronavirus will have wide-reaching impacts in the Maghreb”, Brookings, 26 March 2020, <https://www.brookings.edu/opinions/brookings-experts-on-the-implications-of-covid-19-for-the-middle-east-and-north-africa/>
- [2] Al Arrayed SS, Haites N. (2020). Features of Sickle-Cell Disease in Bahrain. 1995. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/117239>. Anon. The species severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nat Microbiol* 2020;5 (4):536–44.
- [3] Al-Ajlouni, Laith Fakhri, “Jordan's Battle with Coronavirus Is Yet To Start”, ISPI Dossier, 12 April 2020, <https://www.ispi-online.it/en/publicazione/mena-region-vs-covid-19-one-challenge-common-strategies-25649>
- [4] Al-Arabiya, “Coronavirus: Iran investigating if COVID-19 was US biological attack, says official”, 12 April 2020, <https://english.alarabiya.net/en/News/middle-east/2020/04/12/Coronavirus-Iran-investigating-if-COVID-19-was-US-biological-attack-says-official>
- [5] Alatrany SSJ (2020) COVID-19 Related Stigma, Examining the View of the General Public of Stigma toward People with COVID-19 in Iraq. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation* 24: 7108-7115.
- [6] Al-Jazeera, “Coronavirus ‘disaster in the making’ in war-torn Syria”, April 2020, <https://www.aljazeera.com/news/2020/04/coronavirus-disaster-making-war-torn-syria-200413072258750.html>
- [7] Al-Jazeera, “Libya: Military leaders resume UN-sponsored talks,” 19 October 2020, <https://www.aljazeera.com/news/2020/10/19/libya-military-leaders-resume-un-sponsored-talks>
- [8] Al-Khalidi, Suleiman, “Jordan announces record daily new COVID-19 cases”, Reuters 21 October 2020, <https://www.reuters.com/article/us-health-coronavirus-jordan-surge/jordan-announces-record-daily-new-covid-19-cases-idUSKBN27637Y>
- [9] Alnasser, A.H.A.; Al-Tawfiq, J.A.; Al-Kalif, M.S.H.; Shahadah, R.F.B.; Almuqati, K.S.A.; Al-Sulaiman, B.S.A.; Alharbi, K.K.S.; Alabbad, F.Y.M.; Alabbad, J.Y.M.; Alquwaiz, I.A.I.; et al. (2021). Public Knowledge, Attitudes, and Practice towards COVID-19 Pandemic in Saudi Arabia: A Web-Based Cross-Sectional Survey. *Med. Sci.* 2021, 9, 11. <https://doi.org/10.3390/medsci9010011>.
- [10] Aluga MA (2020) Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in Kenya: Preparedness, response and transmissibility. *J Microbiol Immunol Infect.*
- [11] Anjorin AA (2020) The coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: A review and an update on cases in Africa. *Asian Pac J Trop Med* 13: 199-203.
- [12] Anjorin AA (2020) The coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: A review and an update on cases in Africa. *Asian Pac J Trop Med* 13: 199-203.
- [13] AP News, “Morocco faces down COVID spread with tough rules,” 27 September 2020, <https://apnews.com/article/virus-outbreak-africa-casablanca-rabat-north-africa-7bd458dbffb7b1d82cb110c9223f5a6f>
- [14] Ardevini, Lucia, “COVID-19 in Egypt: Global pandemics in times of authoritarianism” ISPI Dossier, 12 April 2020, <https://www.ispionline.it/en/publicazione/mena-region-vs-covid-19-one-challenge-common-strategies-25649>
- [15] Awadala, Nadine, “Egyptians struggle to return to work even as lockdown lifts,” Reuters, 20 July 2020, <https://www.reuters.com/article/us-health-coronavirus-egypt-jobs-idUSKCN24L1X7>
- [16] BBC, 5 May 2020, “IS militants step up attacks on Iraqi security forces”, <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-52535842>
- [17] Bisht H, Roberts A, Vogel L, Subbarao K, Moss B. (2005) Neutralizing antibody and protective immunity to SARS coronavirus infection of mice induced by a soluble recombinant polypeptide containing an N-terminal segment of the spike glycoprotein. *Virology* 2005;334(2):160–5.

- [18] Bukreyev A, Lamirande EW, Buchholz UJ, Vogel LN, Elkins WR, St Claire M, et al. (2004). Mucosal immunisation of African green monkeys (*Cercopithecus aethiops*) with an attenuated parainfluenza virus expressing the SARS coronavirus spike protein for the prevention of SARS. *Lancet* 2004;363 (9427):2122–7.
- [19] CGTN, “Tunisia to ban gatherings, cut public-sector work hours due to pandemic”, 5 October 2020, <https://newsaf.cgtn.com/news/2020-10-05/COVID-19-Tunisia-to-ban-gatherings-cut-public-sector-work-hours-Ukea2mecjW/index.html>
- [20] Chen Y, Tong X, Wang J, et al. High SARS-CoV-2 antibody prevalence among healthcare workers exposed to COVID-19 patients. *J Infect* 2020; <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0163445320303443>
- [21] Cheung E. China coronavirus: Hong kong researchers have already developed vaccine but need time to test it, expert reveals: South china morning post. [cited 2020 29 January]; Available from: <https://www.scmp.com/news/hongkong/health-environment/article/3047956/china-coronavirus-hongkong-researchers-have>.
- [22] Clover B. (2019). Clover initiates development of recombinant subunit- trimer vaccine for wuhan coronavirus (2019-ncov). [cited 2020 6 March]; Available from: <http://www.cloverbiopharma.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=11&id=40>.
- [23] Dworkin, Anthony and Tarek Megerisi. “North Africa”, Council on Foreign Relations, 19 March 2020, [https://www.ecfr.eu/article/commentary\\_infected\\_the\\_impact\\_of\\_the\\_coronavirus\\_on\\_the\\_middle\\_east\\_and\\_no](https://www.ecfr.eu/article/commentary_infected_the_impact_of_the_coronavirus_on_the_middle_east_and_no)
- [24] El-Halabi, Bachar, “Between Famine and a Pandemic: Lebanon Is a Ticking Time Bomb”, ISPI Dossier, 12 April 2020, <https://www.ispionline.it/en/publicazione/mena-region-vs-covid-19-one-challenge-common-strategies-25649>
- [25] Escher AR (2020) An Ounce of Prevention: Coronavirus (COVID-19) and Mass Gatherings. *Cureus* 12: e7345.
- [26] Foreign, Commonwealth & Development Office, “Joint Statement on ceasefire in Libya,” 30 October 2020, <https://www.gov.uk/government/news/joint-statement-on-ceasefire-in-libya>
- [27] Geo-Vax. Geovax and bravovax (wuhan, china) to collaborate on development of coronavirus vaccine. [cited 2020 3 March]; Available from: <https://www.geovax.com/news/geovax-and-bravovax-wuhan-china-to-collaborate-on-development-of-coronavirus-vaccine>.
- [28] Ghebreyesus, Tedros Adhanom, WHO Secretary General, Speech to Munich Security Conference, February 2020, <https://www.who.int/dg/speeches/detail/munich-security-conference>
- [29] Giampaolo, Mattia “Libya and coronavirus: what are the political and health risks?”, ISPI Dossier, 12 April 2020, <https://www.ispionline.it/en/publicazione/mena-region-vs-covid-19-one-challenge-common-strategies-25649>
- [30] Guetat, Meriem, “Tunisia and coronavirus: the reality of a poor governance”, ISPI Dossier, 12 April 2020, <https://www.ispionline.it/en/publicazione/mena-region-vs-covid-19-one-challenge-common-strategies-25649>
- [31] Hamaizia, Adel, “Algeria’s perfect storm: COVID-19 and its fallout”, Chatham House, 6 May 2020, <https://www.chathamhouse.org/expert/comment/algeria-s-perfect-storm-covid-19-and-its-fallout>
- [32] Harapan H, Itoh N, Yufika A, Winardi W, Keam S, et al. (2020) Coronavirus disease 2019 (COVID-19): A literature review. *Journal of Infection and Public Health* 13: 667-673.
- [33] Harrison EA, Wu JW. (2020). Vaccine confidence in the time of covid-19. *Eur J Epidemiol.* 2020 Apr; 35(4): 325–30.
- [34] Harvey A (2020) Covid-19: medical students and FY1 doctors to be given early registration to help combat covid-19. *BMJ* 368: m1268
- [35] Hassan S, Sheikh FN, Jamal S, Ezeh JK, Akhtar A (2020) Coronavirus (COVID-19): A Review of Clinical Features, Diagnosis, and Treatment. *Cureus* 12: e7355.
- [36] Huamán-Saavedra JJ (2020) The COVID-19 pandemic. *Trujillo Medical Journal* 15: 53-54.
- [37] Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, et al. (2019). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet* 2020;395:497–506. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140673620301835>
- [38] Humanitarian response plan (2020). Sudan covid-19 addendum. 29 pages.

- [39] IMF Press Release, “IMF Executive Board Approves US\$ 396 Million in Emergency Assistance to Jordan to Address the COVID-19 Pandemic”, 21 May 2020, <https://www.imf.org/en/News/Articles/2020/05/21/pr20222-jordan-imf-executive-board-approves-emergency-assistance-to-address-the-covid-19-pandemic>
- [40] Inovio IP.(2020) Inovio selected by cepi to develop vaccine against new coronavirus inovio. [cited 2020 29 January]; Available from: <http://ir.inovio.com/newsand-media/news/press-release-details/2020/Inovio-Selectedby-CEPI-to-Develop-Vaccine-Against-NewCoronavirus/default.aspx>\*
- [41] Joseph, Edward P. and Wolfgang Puzsai, “The coronavirus could heal Libya”, Foreign Policy, 7 April 2020, <https://foreignpolicy.com/2020/04/07/coronavirus-libya-civil-war-pandemic/>
- [42] Kam YW, Kien F, Roberts A, Cheung YC, Lamirande EW, Vogel L, et al. (2007) Antibodies against trimeric S glycoprotein protect hamsters against SARS-CoV challenge despite their capacity to mediate FcγRII-dependent entry into B cells in vitro. *Vaccine* 2007;25(4):729–40.
- [43] Kucirka L, Lauer S, Laeyendecker O, Boon D, Lessler J. (2020). Variation in false negative rate of RT-PCR based SARS-CoV-2 tests by time since exposure. *Ann Intern Med* 2020;173:262–7.
- [44] Kumar R, Agarwal A (2020) COVID-19: Common Prevention-Brief Review. SSRN Electronic Journal.
- [45] Lee LZ. J.-H.Z.W (2020).Chinese scientists race to develop vaccine as coronavirus death toll jumps: South china morning post. [cited 2020 29 January]; Available from: <<https://www.scmp.com/news/china/society/article/3047676/numbercoronavirus-cases-china-doubles-spread-rate-accelerates>>.
- [46] Li CC, Wang RF (2020) Challenges and opportunities brought by COVID-19: Understanding and prevention of COVID-19. *World Chinese Journal of Digestology* 28: 275-279.
- [47] Lounis M, (2021). Epidemiology of coronavirus disease 2020 (COVID-19) in Algeria. *New Microbes New Infect* . 2021 Jan;39:100822.doi: 10.1016/j.nmni.2020.100822. Epub 2020 Nov 24. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2052297520301748/pdf?md5=b2e2b757135ba57da19ab69bbcbce4d44&pid=1-s2.0-S2052297520301748-main.pdf>
- [48] Loveluck, Louisa, and Mustafa Salim, “ISIS exploits Iraq’s coronavirus lockdown to step up attacks”, *The Washington Post*, 8 May 2020, [https://www.washingtonpost.com/world/middle-east/isis-exploits-iraqs-coronavirus-lockdowns-to-step-up-attacks/2020/05/07/1513edee-8f98-11ea-9322-a29e75effe93\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/world/middle-east/isis-exploits-iraqs-coronavirus-lockdowns-to-step-up-attacks/2020/05/07/1513edee-8f98-11ea-9322-a29e75effe93_story.html)
- [49] Martini, Lorena Stella, “Coronavirus in Morocco: The Kingdom’s forward looking strategy”, ISPI Dossier, 12 April 2020, <https://www.ispionline.it/en/pubblicazione/mena-region-vs-covid-19-one-challenge-common-strategies-25649>
- [50] McKay BLP (2020). Drugmakers rush to develop vaccines against china virus the wall street journal. [cited 2020 28 January]; Available from: <<https://www.wsj.com/articles/drugmakers-rush-to-develop-vaccines-against-china-virus-11579813026>>.
- [51] Mezran, Karim, et. al., “The coronavirus crisis highlights the unique challenges of North African countries”, Atlantic Council, 30 March 2020, <https://atlanticcouncil.org/blogs/menasource/the-coronavirus-crisis-highlights-the-unique-challenges-of-north-african-countries/>
- [52] Middle East Monitor, “Egypt: Prime Minister warns of full Covid-19 lockdown,” 3 November 2020, <https://www.middleeastmonitor.com/20201103-egypt-prime-minister-warns-of-full-covid-19-lockdown/>
- [53] MOH, 2020. COVID-19 Monitoring Committee Holds Its Meeting. <https://www.moh.gov.sa/en/Ministry/MediaCenter/News/Pages/News>
- [54] NATO, “Tunisia requests international assistance in their response to COVID-19”, 6 May 2020, [https://www.nato.int/cps/en/natohq/news\\_175635.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_175635.htm)?
- [55] OCHA in the Occupied Palestinian Territory. (2020). Emergency situation report n. 12. [online] East Jerusalem. [Cited 18 August 2020] <https://www.ochaopt.org/content/covid-19-emergency-situation-report-12>
- [56] OECD, “COVID-19 crisis response in MENA countries”, 29 April 2020, [https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=129\\_129919-4i7bq8asv&title=COVID-19-Crisis-Response-in-MENA-Countries](https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=129_129919-4i7bq8asv&title=COVID-19-Crisis-Response-in-MENA-Countries)
- [57] Oman News Agency. (2020). Results Summary of COVID-19 National Serology Survey First Phase. Muscat: Oman News Agency; 2020 Available at: <https://omannews.gov.om/NewsDescription/ArtMID/392/ArticleID/20053/Results-Summary-of-COVID-19-National-Serology-Survey-First-Phase> [Accessed 30 October 2020].

- [58] Padron-Regalado E (2020) Vaccines for SARS-CoV-2: Lessons from Other Coronavirus Strains. *Infect Dis Ther* 9: 255-274.
- [59] Prem K, Liu Y, Russell TW, Kucharski AJ, Eggo RM, et al. (2020) The effect of control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic in Wuhan, China: a modelling study. *Lancet Public Health* 5: e261-e270.
- [60] RFE/ RL, “EU Monitors See Coordinated COVID-19 Disinformation Effort By Iran, Russia, China, 22 April 2020”, <https://www.rferl.org/a/eu-monitors-sees-coordinated-covid-19-disinformation-effort-by-iran-russia-china/30570938.html>
- [61] Richardson S, Hirsch JS, Narasimhan M, Crawford JM, McGinn T, Davidson KW, et al. (2020) Presenting characteristics, comorbidities, and outcomes among 5,700 patients hospitalized with covid-19 in the New York city area. *JAMA*. 2020 May 26; 323(20):2052–9.
- [62] Roggero, Caterina, “Algeria: coronavirus’ effects on a nation in turmoil”, ISPI Dossier, 12 April 2020, <https://www.ispionline.it/en/publicazione/mena-region-vs-covid-19-one-challenge-common-strategies-25649>
- [63] Shama, Nael M., “In Egypt, the Coronavirus poses a political threat”, *Foreign Policy*, 30 April 2020, <https://foreignpolicy.com/2020/04/30/egypt-sisi-coronavirus-political-threat/>
- [64] Shereen, M A.; Khan S; A, Kazmi A, Bashir N, Siddique, R., (2020) . COVID-19 infection: Emergence, transmission, and characteristics of human coronaviruses *Journal of Advanced Research* Volume 24, July 2020, Pages 91-98
- [65] Singhal T (2020) A Review of Coronavirus Disease-2019 (COVID-19). *Indian J Pediatr* 87: 281-286.
- [66] Singhal T (2020) A Review of Coronavirus Disease-2019 (COVID-19). *Indian J Pediatr* 87: 281-286.
- [67] Talbot, Valeria (2020), “COVID-19 in MENA: Toward a Shift in the Regional Balance of Power in Dacrema, Eugenio ad Valeria Talbot eds, *The MENA Region vs COVID-19:One Challenge,Common Strategies?*, Mediterranean Dialogues, Italian Institute for International Political Studies, 7 April 2020, [https://www.ispionline.it/sites/default/files/publicazioni/isp\\_i\\_dossier\\_menavscovid19.pdf](https://www.ispionline.it/sites/default/files/publicazioni/isp_i_dossier_menavscovid19.pdf)
- [68] Tass, “Iranian revolutionary guard chief claims coronavirus may be a US biological weapon,” 5 March 2020, <https://tass.com/world/1127137>
- [69] The Economist, “Sickly state: Iran has led its covid-19 outbreak get out of hand”, 12 March 2020, <https://www.economist.com/middle-east-and-africa/2020/03/12/iran-has-let-its-covid-19-outbreak-get-out-of-hand>
- [70] Tong JY, Wong A, Zhu D, Fastenberg JH, Tham T.(2020). The prevalence of olfactory and gustatory dysfunction in covid-19 patients: a systematic review and meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2020 Jul; 163(1): 3–11.
- [71] UNHCR MENA COVID-19 Situation Update and Response (March-August 2020) <https://data2.unhcr.org/en/documents/details/79238> (UNOCHA) United Nations Office for the Coordination of the Humanitarian Affairs, “Humanitarian Impact of Settlements”, <https://www.ochaopt.org/theme/humanitarian-impact-of-settlements>
- [72] UNICEF. (2020). State of Palestine Humanitarian Situation Report.End of Year 2020. 9 pages.
- [73] United Nations United Arab Emirates, (2020). COVID-19 Socio-Economic Analysis for the United Arab Emirates. 18 pages.
- [74] Wahaibi AA, Manji AA, Alyaquobi F, Al Harthy K, Al-Jardani A, Al Rawahi B, Al-Abri S. (2021). Effects of COVID-19 on mortality: A 5-year population-based study in Oman. *International Journal of Infectious Diseases* 104 (2021) 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.12.054>
- [75] Wahaibi AA, Manji AA, Maani AA, Rawahi BA, Harthy KA, Alyaquobi F, et al.(2020). COVID-19 epidemic monitoring after non-pharmaceutical interventions: the use of time-varying reproduction number in a country with a large migrant population. *Int J Infect Dis* 2020;99:466–72.
- [76] Wang W, Enilov M (2020) The Global Impact of COVID-19 on Financial Markets. *SSRN Electronic Journal* 10.
- [77] WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard, 21 October, 2020, <https://covid19.who.int/table>
- [78] Wordometer, Tunisia, <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/tunisia/>
- [79] World Health Organisation, “WHO alarmed over rapidly escalating rates of COVID-19 in Libya,” 3 September 2020, <https://reliefweb.int/report/libya/who-alarmed-over-rapidly-escalating-rates-covid-19-libya>

- [80] World Health Organization (WHO). (2019). Report of the WHO-China joint mission on coronavirus disease 2019 (COVID-19). Available at: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-jointmission-on-COVID-19-final-report.pdf>
- [81] World Health Organization (WHO). (2019). Coronavirus disease (COVID-2019) situation reports. Available at: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>
- [82] World Health Organization [Internet]. The push for a covid-19 vaccine. Geneva. [cited 2020 Dec 23]. Available from: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/covid-19-vaccines>
- [83] World Health Organization. Coronavirus disease 2019 (covid-19): situation report, 51. Geneva: World Health Organization; 2020. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331475>
- [84] World Vision, “COVID-19 surge in Northwest Syria as cases multiply by 14 times in one month”, October 2020, <https://reliefweb.int/report/syrian-arab-republic/covid-19-surge-northwest-syria-cases-multiply-14-times-one-month>
- [85] Worldometer, Algeria, <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/algeria/>
- [86] Worldometer, Egypt, <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/egypt/>
- [87] Worldometer, Iran, <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/iran/>
- [88] Worldometer, Iraq, <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/iraq/>
- [89] Worldometer, Israel, <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/israel>
- [90] Worldometer, Jordan, <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/jordan/>
- [91] Worldometer, Lebanon, <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/lebanon/>
- [92] Worldometer, Morocco, <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/morocco/>
- [93] Worldometer, Saudi Arabia, Coronavirus Updates, 2020: [www.worldometer.com/corona](http://www.worldometer.com/corona). <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/saudi-arabia/>
- [94] Worldometer, Syrie, <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/syria/>
- [95] Worldometer, Yemen, <https://www.worldometers.info/coronavirus/country>
- [96] Xinhua. (2020) China fast-tracks novel coronavirus vaccine development xinhua. [cited 2020, 29 January]; Available from: [http://www.xinhuanet.com/english/2020-01/28/c\\_138739378.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2020-01/28/c_138739378.htm).
- [97] Yang Y, Yang M, Shen C, Wang F, Yuan J, Li J, et al. (2020). Evaluating the accuracy of different respiratory specimens in the laboratory diagnosis and monitoring the viral shedding of 2019-nCoV infections. MedRxiv 2020;, doi: <http://dx.doi.org/10.1101/2020.02.11.20021493>.
- [98] Younes, Ali, “How Jordan is flattening its COVID-19 curve”, Aljazeera, 22 April 2020, <https://www.aljazeera.com/news/2020/04/jordan-flattening-covid-19-curve-200422112212466.html>
- [99] Zhao X, Zhang B, Li P, Ma C, Gu J, Hou P, et al. (2020). Incidence, clinical characteristics and prognostic factor of patients with COVID-19: a systematic review and meta-analysis. medRxiv 20 March 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.03.17.20037572>.
- [100] Zimmt, Raz and Tomer Fadlon, “The impact of the coronavirus pandemic on the Iranian economy”, INSS Insight, 7 April 2020, <https://www.inss.org.il/publication/coronavirus-and-iran-economy/>

# 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 3 – Septembre 2022

### E<sub>au</sub> - S<sub>anté</sub> - C<sub>limat</sub>'2022



## Eau, Climat, Santé, Inégalités : Quelles Solutions

Rédacteur en Chef : Pr Nouredine Gaaloul

Publié par :

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



## Comité Scientifique International (CSI-EC'2022)

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

## Préface



*Partout dans le monde, des milliards de personnes n'ont pas accès aux services les plus élémentaires nécessaires pour protéger leur santé, que ce soit contre le COVID-19 ou tout autre risque. Les installations de lavage des mains sont essentielles pour la prévention de la transmission des maladies infectieuses, mais font défaut dans 40 % des ménages. Les agents pathogènes résistants aux antimicrobiens sont largement répandus dans l'eau et les déchets et leur bonne gestion est nécessaire pour empêcher leur propagation aux humains. En particulier, il est essentiel que les établissements de santé soient équipés de services d'eau et d'assainissement, y compris le savon et l'eau qui constituent l'intervention la plus élémentaire*

*pour réduire la transmission du SRAS-CoV-2 et d'autres infections, l'accès à une énergie fiable qui est nécessaire pour effectuer la plupart des procédures médicales et la protection professionnelle des agents de santé.*

*Dans l'ensemble, les risques environnementaux et professionnels évitables sont à l'origine d'environ un quart de tous les décès dans le monde. L'investissement dans des environnements plus sains pour la protection de la santé, la réglementation environnementale et la garantie que les systèmes de santé sont résilients au climat est à la fois un garde-fou essentiel contre les catastrophes futures et offre certains des meilleurs rendements pour la société.*

*Le changement climatique pose des menaces actuelles et croissantes pour la santé humaine. Alors que le climat continue de se réchauffer, les risques pour la santé humaine vont augmenter, exacerbant les menaces existantes pour la santé et créant de nouveaux défis de santé publique. La sécheresse est un événement dangereux à évolution lente. Effets psychologiques de vivre ce type de catastrophe sont plus subtils et durent plus longtemps qu'avec d'autres produits naturels catastrophes.*

*Le changement climatique représente le défi le plus important du XXI<sup>e</sup> siècle et présente des risques pour les services d'eau et d'assainissement. Les préoccupations concernant l'approvisionnement en eau comprennent les dommages causés aux infrastructures par les inondations, la perte de sources d'eau en raison de la baisse des précipitations et de l'augmentation de la demande, et les changements dans la qualité de l'eau des sources d'eau et dans la distribution de l'eau. Les problèmes d'assainissement comprennent les dommages et la perte de services causés par les inondations et la capacité de charge réduite des eaux recevant les eaux usées. Les actions clés pour réduire les risques climatiques comprennent l'intégration de mesures de résilience climatique dans les plans de sécurité de l'eau, ainsi que l'amélioration de la comptabilité et de la gestion des ressources en eau. Les prescriptions politiques sur les technologies de prestation de services et les changements dans les modèles de gestion offrent un potentiel de réduction des risques, en particulier dans les milieux à faible revenu. Les services d'eau et d'assainissement contribuent aux émissions de gaz à effet de serre. Le choix des technologies de traitement des eaux usées, l'amélioration de l'efficacité du pompage, l'utilisation de sources d'énergie renouvelables et la production d'énergie au sein du système offrent un potentiel de réduction des émissions. Dans l'ensemble, une plus grande attention et des recherches sont nécessaires pour comprendre, planifier et s'adapter au changement climatique dans les services d'eau et d'assainissement. Comme pour de nombreuses autres adaptations au changement climatique, les avantages probables des solutions sans regrets sont susceptibles de l'emporter sur les coûts d'investissement.*

*Les preuves des risques potentiels pour les services d'eau et d'assainissement posés par le changement climatique sont de plus en plus nombreuses. Il existe de multiples risques dérivés à la fois des changements dans les précipitations et des augmentations de température, qui sont liés aux dommages aux infrastructures entraînant la perte de services et la contamination de l'environnement et à la détérioration de la qualité de l'eau, des impacts qui augmenteront les risques pour la santé. Force est de constater que ces risques sont généralisés, affectant aussi bien les pays pauvres que les pays riches, et les pays en milieux tempérés et tropicaux. Il existe de bonnes preuves que les impacts sur les services d'eau et d'assainissement dus au changement climatique entraîneront des impacts directs sur la santé. Cela provient principalement des maladies infectieuses, en particulier de la diarrhée, mais il existe des preuves que les risques de maladies non transmissibles augmenteront également.*

*Différentes technologies et approches de gestion ont une résilience très différente au changement climatique. Des stratégies de gestion des impacts du changement climatique commencent à émerger ; cependant, il reste beaucoup à faire, en particulier dans les pays à faible revenu et pour les petits approvisionnements dans tous les pays. L'intégration de la résilience climatique dans les approches de gestion des risques existantes telles que les plans de sécurité de l'eau semble offrir l'une des approches les plus rentables pour gérer les risques climatiques, et des approches similaires ont un potentiel dans le domaine de l'assainissement. Cependant, dans certains cas, des investissements dans de nouvelles infrastructures ou dans la gestion des bassins versants seront nécessaires. Les services d'eau et d'assainissement représentent également des sources importantes de gaz à effet de serre, bien que leurs contributions globales restent mal quantifiées et qu'il s'agisse d'un besoin de recherche important. Néanmoins, des choix peuvent être faits pour minimiser les émissions grâce à la sélection de technologies et à une gestion saine. Étant donné que les avantages du développement sont susceptibles de découler d'actions visant à renforcer la résilience climatique, plus d'eau et d'assainissement, les programmes devraient envisager d'accéder au financement climatique à l'avenir.*

*Les interactions entre les changements climatiques, l'eau et l'agriculture sont nombreuses, complexes et spécifiques à chaque région. Les changements climatiques peuvent avoir des répercussions sur les ressources en eau de différentes manières, par exemple en modifiant la quantité et le régime des précipitations et en provoquant des phénomènes hydrologiques extrêmes tels que les inondations et les sécheresses. La qualité de l'eau en pâtit, entre autres, en raison de la modification du débit des cours d'eau et du ruissellement de nutriments et de sédiments, ce qui entraîne une hausse de la température de l'eau, une réduction de la quantité d'oxygène dissous et une charge en nutriments. L'utilisation d'engrais agricoles et la surexploitation des eaux (souterraines) peuvent aggraver la baisse de la qualité de l'eau. Les changements hydrologiques peuvent à leur tour affecter profondément la production agricole et avoir des effets déstabilisants pour les marchés agricoles, la sécurité alimentaire et les utilisations non agricoles de l'eau.*

*Ainsi, les impacts du changement climatique sur le cycle de l'eau et les conséquences qui en découlent pour l'agriculture, mais aussi les pratiques agricoles non durables, affectent de plus en plus les moyens de subsistance des populations, soulignant l'urgence d'intensifier l'adaptation et de maximiser les autres retombées positives de l'atténuation.*

*Les liens entre les changements climatiques, l'eau et l'agriculture sont également reconnus comme essentiels dans le processus de préparation de la COP 27, dans le cadre de laquelle deux initiatives phares de la présidence ont été identifiées : « Action for Water Adaptation and Resilience (AWARE) » (Action pour l'adaptation et la résilience dans le domaine de l'eau) et « Food and Agriculture for Sustainable Transformation (FAST) » (Alimentation et agriculture pour une transformation durable).*

*D'ici 2050, il faudra environ 60 % de nourriture supplémentaire — jusqu'à 100 % dans les pays en développement — pour nourrir le monde, tandis que l'agriculture restera le plus grand consommateur d'eau au niveau mondial, représentant dans de nombreux pays environ deux tiers ou plus des réserves tirées des cours d'eau, des lacs et des aquifères. Cela a des conséquences importantes pour l'adaptation des réseaux d'approvisionnement en eau au niveau des bassins versants, tant en matière de répartition de l'eau entre l'agriculture et les autres utilisations de l'eau que d'externalités environnementales. En outre, l'adaptation des pratiques agricoles est nécessaire pour tenir compte de la réduction de la disponibilité de l'eau.*

*La compréhension des impacts intersectoriels ouvre des possibilités cruciales pour les avantages de la coopération dans le domaine des eaux transfrontières.*

*La coopération dans le domaine des eaux partagées permet d'améliorer l'adaptation aux risques climatiques liés à l'eau (par exemple par le développement de systèmes de partage d'informations ou l'échange de données entre secteurs, l'élargissement de la gamme et de la localisation des mesures disponibles, et le partage des coûts et des avantages). Elle permet d'éviter les erreurs d'adaptation qui pourraient résulter de mesures unilatérales et leurs potentiels effets négatifs. Plus largement, elle apporte également une contribution essentielle à la résilience climatique, au développement durable, à la sécurité alimentaire et énergétique, à la paix et à l'intégration régionale. La planification de l'adaptation aux changements climatiques au niveau des bassins transfrontières peut apporter des avantages et renforcer les capacités de résilience de milliards de personnes et d'espèces à l'échelle mondiale.*

**Noureddine Gaaloul**

Professeur de l'Enseignement Supérieur Agricole (Université de Carthage – IRESA-INRGREF)  
Fondateur et Rédacteur en Chef de la Revue Journal International Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement  
Président L'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement en Tunisie (ASTEE *Tunisie*)  
[www.iistec.org](http://www.iistec.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, 22 Numéros, (342 Articles) et 1 livre



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

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

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

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

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

**Numéro 4 – Décembre 2022 ( Articles)**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés

## Caractérisation des réseaux d'acteurs autour des marchés à bétail dans les Communes de l'Ouémé Supérieur, au nord-Est du Bénin

Maman Zakari Bassarou<sup>1</sup>, Boni Sounon Bouko<sup>2</sup>, Saliou Boukari<sup>3</sup>, Jacob Afouda Yabi<sup>1</sup>

1 Laboratoire d'Analyse et de Recherche sur les Dynamiques Economiques et Sociales (LARDES), Université de Parakou Bénin.

2 Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université de Parakou, Bénin.

3 Laboratoire de Cartographie (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin

### Résumé

*Les espaces ruraux subissent des transformations de la faite des activités anthropiques. Les marchés à bétails transforment aujourd'hui une dynamique allant vers les transformations des espaces ruraux grâce à un réseau d'acteurs très actif au quotidien. La présente recherche vise à caractériser les réseaux d'acteurs autour des marchés à bétail dans les Communes de l'Ouémé Supérieur (COS). Pour atteindre cet objectif, des données qualitatives et quantitatives ont été collectées. Des recherches documentaires, des entretiens, des focus groupes et des observations directes sur le terrain ont été réalisés. Un échantillon de 300 enquêtés dans 09 marchés à bétail a servi de base à la collecte des données. La régression logistique, précisément le modèle Logit multinomial tourné avec le logiciel stata 13 a été utilisée pour déterminer les facteurs caractérisant les réseaux d'acteurs. Les résultats ont montré que plusieurs acteurs intervenant dans le réseau des marchés à bétail ont des rôles et des intérêts parfois différents. L'âge, l'expérience et le niveau d'instruction des acteurs; la disponibilité de pâturage, l'existence de couloir de passage et de marchés environnants sont autant de facteurs déterminants les réseaux d'acteurs des marchés à bétail. La perception des enquêtés des facteurs déterminant la transformation de l'espace varie d'un acteur à un autre. Les acteurs ayant des activités en lien avec l'espace (notamment les éleveurs) pensent que les infrastructures telles que le pâturage, les couloirs de passage, le marché à bétail déterminent la transformation de l'espace tandis que les autres acteurs (comme les commerçants, les transporteurs) s'en préoccupent peu*

**Mots clés :** Marché à bétail, réseaux d'acteurs, transformation des espaces ruraux, Ouémé Supérieur, Nord Bénin.

## Characterization of networks of actors around livestock markets in the Communes of Ouémé Supérieur, in the North-East of Benin

### Abstract:

*Rural areas are being transformed by human activities. Today, livestock markets present a dynamic towards the transformation of rural areas thanks to a network of actors who are very active on a daily basis. This research aims to characterise the networks of actors around livestock markets in the Communes of Ouémé Supérieur (COS). To achieve this objective, qualitative and quantitative data were collected. Documentary research, interviews, focus groups and direct observations in the field were carried out. A sample of 300 respondents in 09 livestock markets served as the basis for data collection. Logistic regression, specifically the multinomial logit model run with stata 13 software, was used to determine the factors characterising the stakeholder networks. The results showed that several actors in the livestock market network have different roles and interests. The age, experience and level of education of the actors; the availability of grazing land; the existence of passage corridors and surrounding markets are all factors that determine the networks of actors in livestock markets. The perception of respondents of the factors determining the transformation of space varies from one actor to another. Stakeholders with activities related to space (notably herders) believe that infrastructure such as grazing, passage corridors and the livestock market determine the transformation of space, while other stakeholders (such as traders and transporters) are not very concerned about this.*

**Key Words:** Livestock market, networks of actors, transformation of rural areas, Ouémé Supérieur, North Benin.

<sup>1</sup> Corresponding author: [mamabassarou@yahoo.fr](mailto:mamabassarou@yahoo.fr)

## INTRODUCTION

Le bétail est considéré comme l'un des plus importants produit d'échanges commerciaux des zones pastorales en Afrique de l'Ouest [1]. Dans le secteur d'élevage, l'organisation du commerce de bétail est en plein essor sous l'effet de la forte demande de viande conjugué à l'émergence de nouvelles stratégies de commercialisation. Selon [2], l'approche économiste dominante dans le secteur suppose que la logique du marché commande les décisions des commerçants. En effet, le marché à bétail constitue à lui seul, un domaine économique très vaste et caractérisé par le développement des grands réseaux. Il est le lieu privilégié de commercialisation du bétail et d'échanges entre les pasteurs et les commerçants et entre les commerçants avec l'intervention des intermédiaires appelés "Dilali" qui jouent un rôle de facilitation et de sécurisation des transactions. La création et le développement des marchés à bétail mettent en exergue des enjeux majeurs exprimés en termes de recettes fiscales, de sécurisation des acteurs et des transactions au-delà des frontières nationales [3].

L'attention portée sur cette dynamique du commerce de bétail sur pied dans l'Ouémé Supérieur constitue une préoccupation majeure. Elle est non seulement relative à la productivité en bétail mais aussi à l'organisation du système de réseaux d'acteurs. Les marchés à bétail constituent des lieux de convergence de plusieurs acteurs qui vivent et font vivre sur des espaces des effets de l'activité commerciale. Il s'agit des acteurs directs (éleveurs, pasteurs, commerçants, "Dilali", transporteurs, bouchers) et des acteurs indirects (gardes-vélos/motos, vendeurs de motos, vendeurs de cordes, vendeuses de repas, opérateurs de GSM). Ce sont des systèmes complexes décrits par [1] comme se reposant sur une organisation exceptionnellement adaptée au mode de vie des principaux acteurs et qui permet la succession d'un ensemble d'opérations technico-économiques nécessaire au transfert d'animaux des zones d'élevage vers les bassins de consommation afin de répondre à la demande des consommateurs. Ces systèmes en réseaux ainsi formés constituent les instruments de la structuration d'un espace en un système qui manifeste les dynamiques sur les territoires [4].

Dans ce système d'intérêts divergent, il se pose la récurrente question de la méconnaissance par chaque acteur du rôle qui est le leur et du lien qui existe entre les marchés à bétail et la structuration de l'espace. Il urge donc pour de telle activité socioéconomique mobilisant plusieurs acteurs, que chaque acteur du maillon soit conscient du rôle qui est le leur et les impacts de leurs activités sur l'organisation de l'espace. C'est dans cette dynamique que la présente recherche a été initiée afin de caractériser les réseaux des acteurs autour des marchés à bétail et le lien entre ces marchés à bétail et la structuration de l'espace dans les COS.

## MATERIELS ET METHODE

### Cadre géographique

Le territoire de l'Ouémé supérieur couvre plusieurs départements du nord Bénin. Il s'agit des départements du Borgou, de la Donga et des Collines. La présente recherche se focalise sur le département du Borgou avec les communes de N'Dali, de Parakou et de Tchaourou. De par leurs situations géographiques, ces communes constituent un pôle de développement des marchés à bétail au nord du Bénin. Les communes de N'Dali et de Tchaourou sont de vastes territoires offrant des potentialités d'élevage de gros bétail et la ville de Parakou se présente comme l'important marché de consommation et le grand carrefour de la région nord du Bénin pour les transactions commerciales. Les marchés à bétail de Tourou (à Parakou), Sonnoumon, Sakarou et de Gah Alérou (à N'Dali), d'une part et ceux de Kika, Babarou, Kpéssou, Tchaourou et de Warri Maro (Tchaourou) d'autre part, constituent l'unité de cette recherche.

Cette zone de recherche est située au nord-est du Bénin entre 2° et 3° de longitude Est et entre 8°48' et 10° de latitude Nord (figure 1). Elle s'étend sur une superficie de 11.446 km<sup>2</sup> avec une population totale de 592.220 habitants et une densité relativement faible de 51,74 habitants au km<sup>2</sup> [5]. Les conditions agro-écologiques de la zone d'étude caractérisées par un climat de type sud-soudanien avec une moyenne pluviométrique variant entre 1000 et 1200 mm et offrant six à sept mois d'humidité par an, sont très favorables à l'élevage, à la mobilité des bovins et donc à la mise en place de réseau du commerce de bétail. De même, la végétation arborée composée d'herbes, d'arbres et de forêts classées et forêts galeries [6], milite en faveur de cette activité très fluorescente dans la zone.

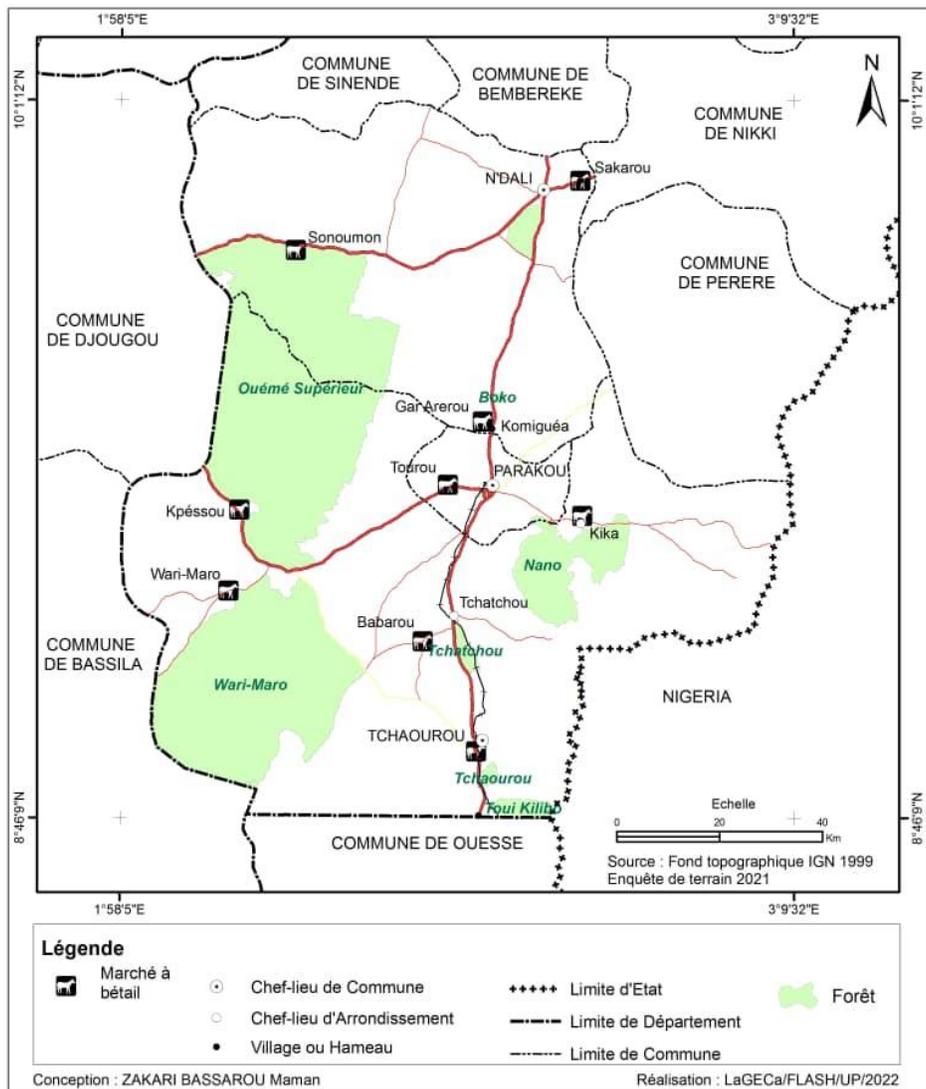


Figure 1 : Situation géographique des communes de l’Ouémé supérieur

### Collecte de données

La méthodologie utilisée pour ce travail s’est appuyée sur l’observation directe, la connaissance et la perception des populations sur le commerce de bétails et les interactions entre cette activité commerciale avec les espaces géographiques concernés. .

Les unités d’observation de la recherche sont les acteurs directs et indirects du réseau de commercialisation du bétail dans les COS. Pour l’ensemble de la population cible, un échantillon de 235 acteurs directs et 65 indirects issus de 09 marchés à bétail a servi de base à la collecte des données. Les enquêtes de terrain ont été déroulées en trois phases essentielles : la phase exploratoire, la phase d’étude approfondie et la phase complémentaire. La phase exploratoire, dans un premier temps a été enrichie par les discussions menées avec les différents acteurs impliqués dans la commercialisation du bétail, dans un second temps, elle a permis de prendre contact avec les autorités politico-administratives, les personnes ressources, et enfin de mieux échantillonner la population à

enquête. Concernant la phase d'étude approfondie, elle a servi à collecter les données et informations qualitatives et quantitatives relatives aux différents aspects de la problématique. Les entretiens individuels (questionnaires) et collectifs (focus groups) et les observations étaient les principales méthodes utilisées pour la collecte des données. Les entretiens ont eu lieu avec 235 acteurs directs (51 éleveurs, 46 commerçants, 42 intermédiaires appelés "Dilali", 40 bouchers, 28 convoyeurs à pieds, 26 transporteurs) et 65 acteurs indirects composés des gardiens de vélos/motos, des vendeurs de motos, des vendeurs cordes, vendeurs de repas, et des opérateurs de GSM. 07 focus groups sont tenus avec les responsables et membres des comités de gestion des marchés à bétail. La phase complémentaire a consisté à une collecte des informations auprès des personnes ressources et dans les administrations des collectivités territoriales.

### Traitement des données

Modélisation des déterminants de l'appartenance des enquêtés au réseau d'acteurs autour des marchés à bétail. La régression logistique, précisément le modèle Logit multinomial a été utilisé pour déterminer les facteurs caractérisant les réseaux d'acteurs et estimer les déterminants des groupes d'acteurs. Le logiciel stata 13 a permis de tourner le modèle. Dans le modèle Logit multinomial, on suppose que plusieurs acteurs donnent leur perception sur la problématique des marchés à bétail et la structuration de l'espace. La fonction Logit introduite par [7], s'écrit comme suit :

$$\Sigma(Y_i) = P(Y_i) = \frac{(e\alpha + \beta X_i)}{(1 + e\alpha + \beta X_i)} \quad (1)$$

Ainsi, pour un enquêté  $i$ , la probabilité d'appartenir à un groupe d'acteur selon le modèle logit est donnée par la formule suivante :

$$P(\text{appartenance groupe acteurs}) = \frac{\exp(\beta Z_i)}{1 + \exp(\beta Z_i)} \quad (2) \quad \text{et}$$

$$P(\text{non appartenance groupe acteurs}) = \frac{1}{1 + \exp(\beta Z_i)} \quad (3)$$

Où :  $\beta$  est un vecteur de coefficient inconnu.  $Z_i$  est un vecteur des variables explicatives permettant de prédire l'appartenance du 1er à l*i*ème enquêté.

Le modèle Logit suppose que, pour la transformation de l'espace rural, les acteurs doivent faire face à plusieurs alternatives disjointes et exhaustives représentées par la variable dépendante  $Y_i$  qui est le choix d'appartenance au groupe d'acteurs. Ainsi ici cinq alternatives disjointes et exhaustives s'offrant à un acteur,  $Y_i$  prend les valeurs  $i=1, 2, 3, 4$  et  $5$  tels que :

$Y=1$  si l'acteur appartient au groupe des acteurs intermédiaires ("Dilali"),

$Y=2$  si l'acteur appartient au groupe des bouchers,

$Y=3$  si l'acteur appartient au groupe des commerçants,

$Y=4$  si l'acteur appartient au groupe des éleveurs,

$Y=5$  si l'acteur appartient au groupe des transporteurs.

Selon les considérations théoriques, l'appartenance à un groupe d'acteurs associée à un ensemble de facteurs tels que l'âge, l'expérience, le niveau d'instruction, le mode de convoyage des animaux, la fréquentation des marchés environnants, influencent l'appréciation de l'existence des marchés à bétail, de pâturage, des couloirs de passage comme déterminant de transformation de l'espace rurale.

Après l'estimation de la matrice de corrélation entre ces variables indépendantes, il est procédé à l'élimination des variables présentant une multi colinéarité avec d'autres variables. Des méthodes d'estimation ont été utilisées pour corriger les éventuelles hétéroscédasticités.

## RESULTATS

### Rôles des Acteurs des marchés à bétail dans les Communes de l'Ouémé Supérieure (COS)

Le commerce du bétail repose sur une organisation d'acteurs en réseau dans laquelle les rôles spécifiques se complètent depuis les campements d'élevage jusqu'à la destination finale des animaux au niveau des boucheries. Cela implique la mobilisation d'une multitude d'acteurs. La figure 2 présente les différents acteurs des marchés à bétail dans les COS

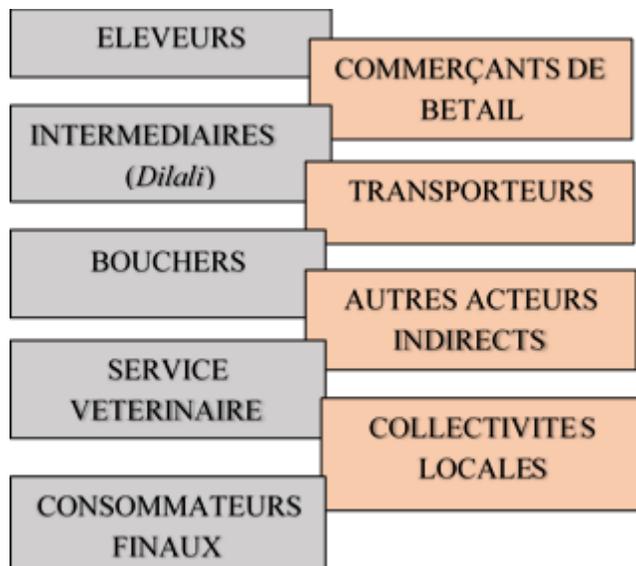


Figure 2 : Acteurs des marchés à bétail dans les COS (Source : enquêtes de terrain, Janvier 2021).

Les éleveurs sont les fournisseurs de la matière première des marchés à bétail. Ils déterminent l'importance de l'animation des marchés à bétail dans les zones rurales. Les populations d'ethnie peulh sont les principaux éleveurs dans les Communes de l'Ouémé Supérieur auxquels s'ajoutent les agriculteurs/éleveurs surtout les baatombu. Ces éleveurs sont constitués des petits éleveurs ruraux qui vendent leurs animaux à des commerçants de bétail itinérants directement à la ferme mais aussi aux grands éleveurs transhumants.

Les commerçants de bétail sont des riches hommes d'affaires du réseau. Ils sont majoritairement des hausa, des peulh et des baatombu. Ils sont à la base des grandes transactions dans les marchés à bétail et les animaux achetés sont destinés aux grandes villes du Nigéria (Lagos, Ibadan, Ilesha,...) et du sud Bénin (Cotonou, Porto-Novo,...).

Les intermédiaires communément appelés "Dilali" constituent un maillon important de la chaîne. Véritables négociateurs, ces intermédiaires facilitent et sécurisent les transactions financières entre les vendeurs et les acheteurs du bétail. Ils appartiennent à diverses ethnies dont principalement les peulh et des baatombu.

Les transporteurs sont constitués de deux catégories : les bouviers et les camionneurs. Les bouviers assurent généralement le déplacement pédestre des bœufs d'un marché à bétail local à un autre à travers les couloirs définis à cette fin ou parfois à travers les abords des grandes voies. Quant aux déplacements des animaux des marchés locaux vers les grands terminaux au Nigéria et au sud Bénin, il est principalement assuré par les camionneurs généralement sollicités par les commerçants du bétail. Secondairement, les animaux sont convoyés vers les marchés terminaux surtout ceux en direction du Nigéria par les bouviers. Ces derniers sont exposés à divers risques sécuritaires (attaques, conflits éleveur-agriculteur, perte de bœuf) le long de leur parcours.

Les bouchers achètent les animaux pour la consommation finale. Ils s'intéressent le plus souvent aux animaux dont l'état de santé n'est pas favorable à continuer le circuit du réseau des marchés. Ils ont une complicité avec les éleveurs peulhs, qui sont considérés comme leurs « chefs » dans la plaisanterie à parenté du milieu.

Les acteurs indirects sont des acteurs de soutien à l'animation des marchés et mènent des activités connexes sans lien étroit avec celles de la vente des bétails. Il s'agit du garde-vélo, de la vente des motos, de la vente des produits

manufacturés. Ces activités facilitent l'utilisation des fonds issus de la vente des animaux en raccourcissant le trajet vers les marchés ordinaires.

Le service vétérinaire est un dispositif sécuritaire à la santé des bétails. Assuré par les agents de l'Etat, ils veillent à la vaccination des animaux qui seront convoyés dans les marchés régionaux hors des frontières béninoises, et vérifient également l'état vaccinal des bétails en provenance des autres pays.

Les collectivités locales quant à elles sont les maîtres d'ouvrage des marchés à bétail. Ils assurent la construction et l'entretien des infrastructures et y prélèvent des taxes pour le développement local. La contribution de ces marchés à bétail aux budgets des Communes de l'Ouémé Supérieur reste encore à améliorer.

Les consommateurs finaux sont l'ensemble des populations qui se rendent dans les marchés à bétail pour se procurer des animaux à diverses fins (cérémonies, consommation domestique). Ces consommateurs sont souvent très nombreux à l'approche des fêtes notamment l'Aïd El Kebir encore appelée fête des moutons chez les musulmans.

#### Déterminants des réseaux d'acteurs des marchés à bétail

Le tableau 1 renseigne sur les résultats d'estimation du modèle multinomiale.

Tableau.1. Résultats de l'estimation des déterminants des réseaux d'acteurs des marchés à bétail

Variables	Réseaux d'acteurs des marchés à bétail							
	Acteurs intermédiaires comme variable de référence							
	Boucher		Commerçant		Eleveur		Transporteur	
	Coeff	Effets Marginaux	Coeff	Effets marginaux	Coeff	Effets marginaux	Coeff	Effets marginaux
Age	0,06	0,004*	0,06	0,005*	0,08	0,007***	0,002	-0,00084
Expérience	0,36	0,04	0,21	0,02	-0,006	-0,004	-1,44	-0,048***
Existence de pâturage	-2,26	-0,16*	-0,39	0,01	-0,44	0,004	-4,40	-0,11**
Existence de couloir de passage	1,91	0,20	1,39	0,105	0,22	-0,05	2,19	0,08
Pâturage comme déterminant transformation espace rurale	0,46	-0,071	1,98	0,078	3,86	0,506***	2,08	0,02
Marché environnant	-1,47	-0,15***	-0,71	-0,068	1,00	0,14***	-1,39	-0,04*
Marché Nigéria	1,46	0,12	1,4	0,13	0,96	0,05	-0,47	-0,027
Marché Cotonou	-0,65	-0,01	-2,61	-0,23	-0,97	-0,05	-0,01	-0,017
Constantes	-3,63	-	-4,28	-	-6,40	-	1,46	-
Nombre d'observations	299		299					
Chi <sup>2</sup> de Wald					237,80			
Pseudo R <sup>2</sup>					33,03%			

\*\*\*, \*\*, \* : significatifs respectivement au seuil de 1%, 5% et 10% ; ddl : degré de liberté

Source : Données d'enquête des auteurs, 2021

L'analyse du tableau montre que le modèle multinomial estimé est globalement significatif au seuil de 1%. Les variables explicatives introduites dans le modèle expliquent à 33,03 % la répartition des acteurs autour des marchés à bétails.

L'appartenance d'un enquêté à l'un ou l'autre des catégories d'acteurs est déterminée significativement par les variables comme l'âge, l'expérience, le niveau d'instruction, le mode de convoyage des animaux, la fréquentation des marchés à bétail environnants. Cependant, le signe et les effets marginaux de ces variables varient suivant le groupe.

L'âge des enquêtés est de plus en plus élevé selon qu'ils appartiennent aux groupes des bouchers, des commerçants et des éleveurs. Cette variable n'est pas significative chez le groupe des transporteurs. En effet, lorsque l'âge de l'enquêté augmente d'un an, la probabilité qu'il appartienne au groupe des bouchers, commerçants et des éleveurs est respectivement de 0,4 %, 0,5 % et de 0,7 %. L'âge est une variable qui détermine à priori le degré de maturité de l'individu. L'âge des différents acteurs enquêtés varie entre 20 et 76 ans avec une fréquence de 34 ans. La chaîne du marché à bétail est exploitée aussi bien par les jeunes que par les personnes âgées. Dans l'échantillon de l'étude, 48 % des enquêtés ont entre 18 et 35 ans. Les bouchers, les commerçants et les éleveurs sont beaucoup plus âgés dans les marchés que les autres acteurs.

L'expérience dans la chaîne de marchés est une variable importante dans l'animation d'un marché à bétail. Elle est exprimée ici en nombre d'années de pratique des activités ou en nombre de marchés parcourus au cours de l'exercice de ses activités. L'expérience de l'enquêté influence négativement et significativement leur appartenance au groupe des transporteurs. Lorsque l'expérience des enquêtés augmente, leur chance d'appartenir au groupe des transporteurs diminuait de 4,8 %. Les transporteurs pour la plupart ne sont pas destinés au départ à transporter le bétail. Ils transportent diverses marchandises et n'ont donc pas besoin d'une expérience particulière dans le domaine des marchés à bétail pour devenir des acteurs de la chaîne. L'essentiel pour eux est de réussir l'opération de transport afin que les animaux arrivent à destination dans de bonnes conditions.

L'existence des couloirs de passage et des pâturages est une caractéristique relativement significative pour les acteurs des marchés à bétail. Pour les bouchers (16 %) et les transporteurs (11%), la présence ou non de pâturage ne peut influencer la mise en œuvre de leurs activités. Les bouchers sont présents au niveau des marchés à bétails sans s'intéresser véritablement au pâturage et les transporteurs commencent leur opération à partir des marchés secondaires ou les lieux de regroupement du bétail. Avec ou sans la présence de pâturage, ces deux acteurs feraient leur activité sans aucune incidence.

Lorsque les enquêtés perçoivent le pâturage comme un déterminant de la transformation de l'espace rural, leur chance d'appartenir au groupe des éleveurs augmente de 50,6 %. Les éleveurs perçoivent donc le pâturage comme un déterminant de la transformation de l'espace rural. En effet, ce sont des acteurs qui ont besoin d'espace pour exercer leurs activités. La présence de pâturage est très importante pour le développement et la survie de leurs activités d'élevage. Pour eux, lorsque les pâturages existent, les bétails ne seront plus obligés de se déplacer sur de longues distances et influencent positivement le prix de vente du bétail. Plus les pâturages sont disponibles plus les bétails sont bien nourris et plus leurs prix de vente augmentent. Le fait que les bétails restent sur place favorise l'aménagement et la transformation des espaces.

Quant aux commerçants, ils sont cantonnés à leur rôle d'acheteurs et de revendeurs et se préoccupent très peu des facteurs de transformations de l'espace rural et de développement du sous-secteur. Il en est de même des bouchers qui n'ont pas de réelle interaction avec les autres acteurs et n'ont pas la capacité d'influencer la transformation des espaces ruraux. Les transporteurs n'influencent pas véritablement la transformation des espaces ruraux. Par contre les acteurs intermédiaires représentent le liant entre les autres acteurs et facilitent une certaine cohabitation des différents acteurs.

En ce qui concerne la destination des animaux dans les marchés environnants, cette variable est significative pour le groupe des éleveurs qui y accorde plus d'intérêt tandis que cet intérêt diminuait pour les groupes de bouchers et de transporteurs. Ce résultat montre que ce sont les éleveurs (14 %) qui sont les acteurs les plus intéressés par la destination de leurs animaux. Amener les bétails dans les marchés environnants leur permet de réduire les distances, de prendre moins de risque et de vendre à temps les animaux. En ce qui concerne les bouchers et les transporteurs, ce sont des acteurs qui n'ont pas véritablement d'influence sur la destination des bétails. Le rôle du boucher se résume à vendre la viande issue du bétail au marché sans qu'il ne connaisse forcément la provenance tandis que le transporteur se charge de transporter le bétail sur instruction de l'éleveur qui lui donne le nom de la destination et il ne fait que exécuter moyennant le coût convenu.

Les éleveurs perçoivent donc la présence des pâturages comme déterminant de la transformation des espaces ruraux et décident de la destination des bétails sur les marchés environnants.

### **Influence du niveau d'instruction des acteurs sur l'animation des marchés à bétail des COS**

La figure 3 présente la situation des enquêtés sur le plans d'instruction. L'objectif de cette analyse est de rechercher la capacité des acteurs dans les négociations et l'adoption des nouvelles technologies de communication de plus en plus utilisées dans l'animation des marchés à bétail dans la zone d'étude.

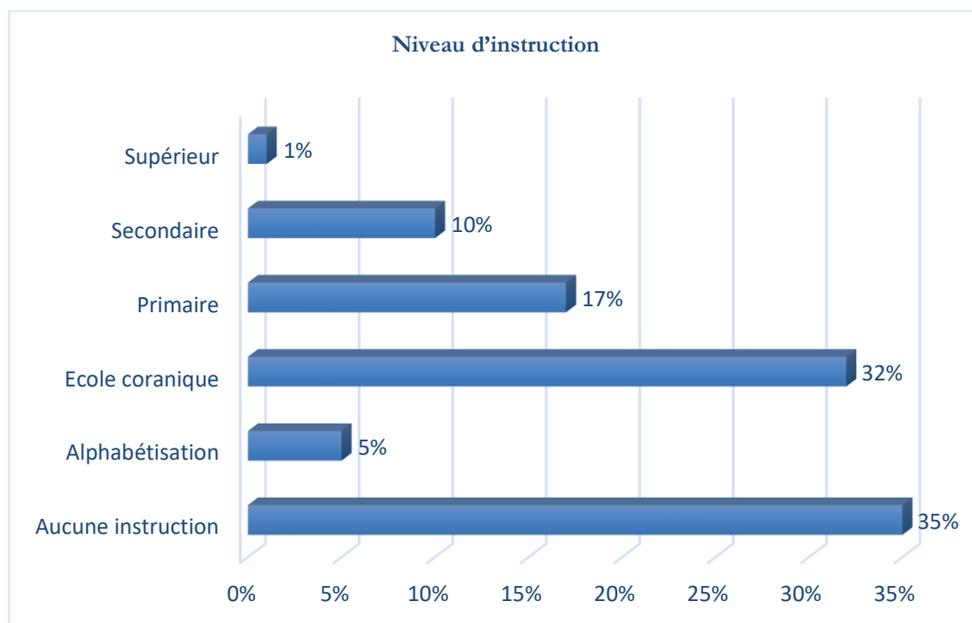


Figure 3: Niveau d'instruction des acteurs du marché de bétail des COS (Source : Enquête de terrain, Janvier 2021)

Les résultats indiquent que 65 % des enquêtés ont la capacité de lire et d'écrire dans une langue. Parmi eux, 5 % sont alphabétisés, 32 % ont fait l'école coranique (lire et écrire en arabe), le reste a fait l'éducation formelle avec des niveaux variant entre le primaire (17 %) et le secondaire (10 %). Le niveau d'éveil des acteurs est donc très significatif pour leur permettre d'accéder facilement aux nouvelles stratégies de commercialisation dans les marchés à bétail. On pourrait parler d'un niveau de lettrisme relativement élevé des acteurs des marchés à bétail de la zone d'étude. Les nouvelles technologies de communication utilisées dans les marchés sont essentiellement le téléphone et le washap. Ces technologies sont utilisées pour s'informer sur la tendance des prix des animaux dans les marchés et le maintien de contact entre les bouviers convoyeurs d'animaux et les gros commerçants propriétaires.

## DISCUSSION

Dans les Communes de l'Ouémé Supérieur, au Bénin, la pratique du commerce de bétail est ancienne et se transmet généralement de père en fils comme l'avait affirmé [8] dans ses travaux sur l'organisation de l'approvisionnement de Lomé en gros bétail dans les années 40. Cet approvisionnement était assuré par les ethnies musulmanes dont les Haussa, les peuls, les dendi et les baatombu du nord Bénin qui se transmettaient le savoir au sein des mêmes familles d'une génération à l'autre. Le marché à bétail dans les COS est complexe et fait intervenir plusieurs acteurs économiques notamment les éleveurs commerçants, les intermédiaires, les bouchers et les consommateurs. Chacun de ces acteurs, en fonction de sa situation économique et ses objectifs, réalise des avantages subséquents liés à la dynamique du marché. Ces résultats viennent confirmer les conclusions de [1] qui ont affirmé que le commerce régional du bétail reste complexe et implique la mobilisation d'une multitude d'acteurs dont l'organisation a souvent été étudiée. Le circuit de distribution du bétail dans les Communes de l'Ouémé Supérieur prend en compte les petits éleveurs ruraux qui vendent leurs animaux à des commerçants en bétail itinérants directement à la ferme. Cette situation est conforme à celle décrite par [9] qui a démontré que les petits producteurs ruraux qui vendent leurs animaux aux commerçants en bétail itinérants directement à la ferme sont au sommet des circuits de distribution du bétail en Afrique de l'Ouest.

Les bouchers sont des acteurs qui n'ont pas de réelle interaction avec les autres acteurs et n'influencent pas la transformation des espaces ruraux. Les commerçants quant à eux sont cantonnés à leur rôle d'acheteurs et de

revendeurs et se préoccupent très peu des de la transformation de l'espace rural par le développement de leur activité. Par contre les éleveurs perçoivent la présence des pâturages comme déterminant de la transformation des espaces ruraux et décident de la destination des bétails sur les marchés environnants. Ces résultats viennent confirmer ceux de [10] qui a montré que les acteurs autour des marchés à bétails étaient constitués des commerçants à bétail appelé les dioulas qui sont détenteurs de capitaux et représentent les véritables marchands de bétails et ne se préoccupe pas véritablement de la transformation des espaces. Ils achètent souvent auprès des collecteurs qui sont des acteurs intermédiaires Les transporteurs jouent leur rôle et n'influencent pas véritablement la transformation des espaces ruraux. Les acteurs intermédiaires représentent le liant entre les autres acteurs et facilitent une certaine cohabitation des différents acteurs. Cela corrobore les travaux de [10] qui précisent que les convoyeurs ont pour rôle de regrouper les animaux vendus ou destinés à la vente sur les marchés et de les acheminer vers leur destination respective à pied ou par véhicule.

Quant aux "Dilali", ils sont souvent des anciens bergers reconvertis. Ils représentent les acteurs intermédiaires. Le [19] a également montré que le circuit vif commençait par l'éleveur qui est au début de la chaîne et se termine par le boucher. La plupart des marchés dans les COS s'animent une fois par semaine ; et cette périodicité est bénéfique pour l'éleveur dans la mesure où elle réduit considérablement les charges liées au transport. La caractérisation des acteurs autour des marchés à bétails a montré une certaine synergie entre les différents acteurs. Pour [2], c'est la très forte cohésion sociale des acteurs qui assure une garantie financière aux transactions sur le bétail, en permettant notamment une pratique générale du crédit. Contrairement à la plupart des marchés céréaliers, les plus grands marchés à bétails des COS, sont connectés à des régions lointaines. Les grands centres de consommation bovine se trouvent dans les régions côtières urbaines, à des centaines ou à plus de mille kilomètres des aires d'élevage [2].

## CONCLUSION

Le commerce du bétail dans les COS est une véritable activité socioéconomique qui met en jeu plusieurs catégories d'acteurs qui opèrent autour des marchés à bétails. Les acteurs directs constitués des éleveurs, commerçants, transporteurs et des bouchers ont des rôles variés parfois complémentaires créant une certaine interaction entre eux. De par leur degré d'intervention dans la chaîne de valeur, ces acteurs influencent différemment la transformation des espaces ruraux. Ainsi, la présence des pâturages est considérée comme le principal facteur déterminant la transformation des espaces ruraux qui décident de la destination des bétails sur les marchés environnants.

## Références

- [1] Sokemawu K., 2010. « Acteurs et stratégies de la commercialisation du bétail dans la région des Savanes septentrionales au Togo ». Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement, n° 2. EDUCI, Lomé, 68-82
- [2] Boutrais J., 2001. « Du pasteur au boucher: le commerce du bétail en Afrique de l'Ouest et du Centre ». *Autrepart* (3), 49-70
- [3] IRDR, 2017. Marché à bétail. Bulletin thématique : <http://www.inter-reseaux.org/bulletin-de-veille>
- [4] Dia N., 2014. Commerce du bétail, villes et développement régional dans la Zone sylvopastorale du Sénégal. Thèse de doctorat, Université Gaston Berger, Saint-Louis, Sénégal, 267p
- [5] INSAE, 2013. 4e Recensement Général de la Population et de l'Habitat du Bénin. <http://www.insaebj.org/2012/doc/Publications/> (consulté en février 2021)
- [6] Boko M., Vissin E. et Kosmowski F., 2012. Les enjeux du changement climatique au Bénin. Programme pour le Dialogue Politique en Afrique de l'Ouest. Konrad-Adenauer-Stiftung. Cotonou, Bénin. 65p.
- [7] Berkson J. 1944. Application of the Logistic Function to Bio-Assay. *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 39, No. 227, pp. 357-365, Taylor & Francis, Ltd. <https://doi.org/10.2307/2280041>. <https://www.jstor.org/stable/2280041>
- [8] Agier M., 1983. Commerce et sociabilité. Les négociants soudanais du quartier zongo de Lomé (Togo). Paris, Éd. De l'ORSTOM, 317p.
- [9] Okike et al. (2017). Les circuits de distribution, les flux et les prix du bétail en Afrique de l'Ouest. ILRI/CFC/CILSS—La commercialisation du bétail en Afrique de l'Ouest: Synthèse 2. 4 pp
- [10] Sow et al. 2021. Etude de la commercialisation des bovins sur pied au Sénégal. *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron.* Décembre 2021, Parakou, Bénin, Vol.11 (No.2) : 15-26.

## Cartographie du niveau du risque industriel à Abidjan Sud : cas des populations riveraines des zones industrielles

Akoissi Ida Natacha Yao-Assahi<sup>1</sup>, Péga Tuo<sup>2</sup>, Kouassi Paul Anoh<sup>3</sup>,

1. Docteur, Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire
2. Maître de Conférence, Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire
3. Professeur Titulaire, Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

### Résumé

*Abidjan, Capitale économique de la Côte d'Ivoire a bénéficié de plusieurs planifications. Ces aménagements avaient prévu la mise en place des zones industrielles qui malheureusement ont été vite caduques au regard de la non maîtrise de la dynamique urbaine et des installations humaines. Pourtant, la prolifération des habitants dans les zones industrielles expose les habitants à des risques. Cette étude vise à cartographier le niveau du risque des populations riveraines des zones industrielles à Abidjan Sud. Concernant la méthodologie, nous avons d'abord fait un inventaire et géolocalisé à l'aide d'un GPS, les industries qui ont établies leur POI (Plan d'Opération Interne) à partir des POI disponibles au service archivage au CLAPOL. Ensuite, nous avons fait un tri sur les POI établis à partir de 2013. Dans le cas de la perception des risques industriels, les cartes mentales ont été introduites à partir d'un questionnaire adressé aux populations vivant dans les zones industrielles d'Abidjan Sud. Les résultats montrent que la commune de Port-Bouët détient une forte concentration des industries soumises à autorisation (61,33%) qui occasionnent des risques majeurs (incendies, explosions, émanations toxiques, etc.) et font l'objet d'une réglementation spécifique visant notamment à maîtriser l'urbanisation dans leur environnement immédiat. Par ailleurs, cette même commune détient la forte densité (3775,07 habitants/Km2) parmi les communes d'Abidjan Sud (INS-RGPH, 2014). Cela accroît la vulnérabilité des populations en cas d'accident majeur. De même, les populations ont un faible niveau de perception des risques encourus malgré leur cobabitation avec les industries.*

*En somme, il y a une confusion entre la zone dans laquelle est implantée l'industrie à l'origine des risques et les zones de danger prenant en compte l'industrie et son environnement immédiat en cas de survenue d'un accident industriel.*

**Mots clés :** Abidjan, risques industriels, zones industrielles, populations riveraines.

## Mapping the level of industrial risk in South Abidjan: case of populations neighboring industrial zones

### Abstract:

*However, the spread of settlements in industrial areas exposes the inhabitants to risks. This study aims at mapping the level of risk incurred by populations living in the vicinity of industrial areas in southern Abidjan. Regarding the methodology, we first made an inventory, based on CLAPOL archiving service documents and geolocated by means of GPS, the industries having elaborated their IOP (Internal Operation Plan).*

*Then we sorted out the IOPs elaborated in the last three years. In the case of the perception of industrial risks, the survey of the population living in industrial areas of southern Abidjan allow us develop mind maps. The results showed that the commune of Port-Bouët has a high concentration of industries subject to authorization (61.33%) which cause major risks (fires, explosions, toxic fumes, etc.) and are subject to specific regulations aiming at controlling urbanization in their immediate environment.*

*Moreover, this commune has the highest density (3775.07 inhabitants/Km2) among the communes of southern Abidjan Sud (INS-RGPH, 2014). This situation increases the vulnerability of the population if a major accident occurs. Similarly, the population has a low level of perception of the incurred risks despite their cobabitation with industries.*

*In short, there is a confusion between the area in which the industry causing the risks is located and the dangerous areas considering the industry and its immediate environment in case of an industrial hazard.*

**Key Words:** Abidjan, industrial risks, industrial areas, neighboring populations.

<sup>1</sup> Corresponding author: [yassahida@yahoo.fr](mailto:yassahida@yahoo.fr)

## INTRODUCTION

Le développement rapide de l'industrialisation a entraîné la mise en place de quartiers spontanés où vivent de milliers de citadins. Certains ont survécu en dépit des clauses des cahiers des charges appelant à leur destruction, ou sont nés après les zones industrielles, et résistent aux injonctions des collectivités publiques, État et communes, qui, martelant l'illégalité de ces quartiers, invitent les "fondateurs" à libérer les terrains qu'ils occupent. Et pourtant, ces quartiers s'étendent; d'autres se créent sur les marges réservées à l'extension des zones d'activités. La présence de ces quartiers constitue un défi aux plans d'urbanisme (A. Yapi Diahou, 2000, p.6). La présence de ces quartiers bouleverse tous ces programmes d'urbanisme, définis depuis l'indépendance. Ces quartiers se disputent la zone industrielle et les populations ne semblent pas réaliser les risques encourus de par leur présence sur ces espaces. Ces quartiers se développent et les personnes se sédentarisent et se croient dans la norme (A. Yapi Diahou, 2000, p.1).

L'étude des risques industriels consiste à prendre en considération les populations exposées au risque, et plus précisément leurs représentations du risque. La prise en compte des représentations des risques que se font les habitants riverains d'une zone industrielle permet d'aider à définir un degré de connaissance et de conscience du risque, et éventuellement une propension à bien agir en cas d'alerte, une capacité à adapter son mode de vie au risque encouru (E. Bonnet et al., 2011, p. 1).

Ces quartiers se sont bâtis sous le regard du Ministère de l'industrie et du ministère de l'Urbanisme qui n'ont pas su imposer une politique rigoureuse de suivi et de contrôle des zones industrielles. Pourquoi une telle complicité des municipalités avec les citadins qui se sont placés en situation d'illégalité (en occupant des terrains qui non seulement ne leur sont pas destinés, mais sur lesquels ils s'exposent à des risques environnementaux?) contre l'État et parfois les intérêts privés? (A.Yapi-Diahou, 2000, p.5). Le constat est réel, industries et habitations cohabitent ensemble et ce qui semble apparemment normal. Cela ne dérange personne même pas les autorités. Cela semblait normal pour eux dans la mesure où il stipulait que ces zones ne devraient pas être occupées mais le sont dans la pratique. Cette complicité tient à des raisons d'ordre électoraliste et de pouvoir d'une part, et à des raisons économiques et financières d'autre part. En effet, les activités artisanales installées dans ces quartiers en violation de la légalité foncière, sont assujetties aux prélèvements fiscaux, de la part des communes voire des services centraux des impôts (Y. A. Fauré, 1988, p.27).

Les populations elles-mêmes installées dans ces zones pourraient aussi être responsables car qu'elles le désirent ou non, elles subissent les désagréments de ces industries. Toutefois, comment établir un rapport entre les risques industriels et la perception des risques des populations vivant dans les zones industrielles? Ainsi, quels sont les risques industriels encourus par les populations dans ces différentes zones? Comment les populations vivant dans les zones industrielles perçoivent-elles le risque industriel? Comment représenter cette perception du risque industriel?

L'objectif est de comparer le degré de connaissance du risque industriel au niveau de perception des populations vivant dans les zones industrielles.

Nous avons ainsi identifié les différents types de risques industriels à partir des POI des industries disponibles ainsi que le niveau de représentation du risque industriel des populations des zones industrielles.

Ainsi, nous serons amenés à:

- Déterminer les risques d'incendie, d'explosion et autres générés par les industries
- Confronter le fort degré d'inquiétude du risque à la forte connaissance des impacts du risque industriel.
- Vérifier si les périmètres de risque officiel coïncident-ils avec celles des représentations des habitants.

## OUTILS ET MÉTHODES

### Présentation de la zone d'étude

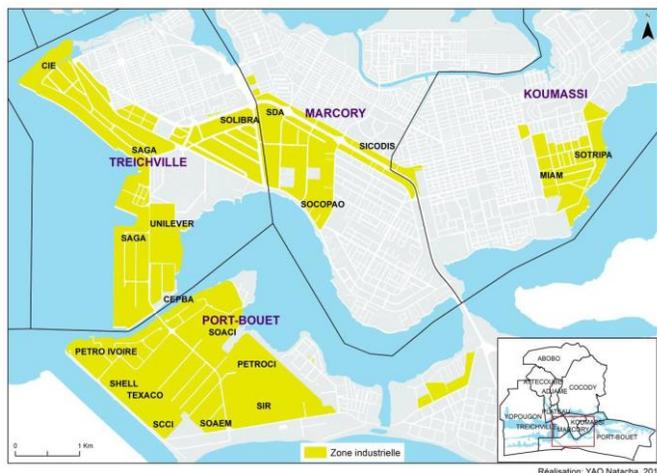


Figure1: Localisation de la zone d'étude, (source: BNETD, CCT, 2006)

#### Méthodes de collecte et de traitement de données

**Évaluation des risques industriels :** Nous avons d'abord fait l'inventaire des industries qui ont établies leur POI (Plan d'Opération Interne) à partir des POI disponibles au service archivage au CIAPOL. Puis, nous avons fait un tri sur les POI établis à partir de 2013 et dont les industries étaient incluses dans notre zone d'étude. Si nous utilisons un POI des années plus antérieures cela risquerait de biaiser les résultats. Enfin, nous avons établis la répartition spatiale des risques selon le type de risque: les risques d'explosion et d'incendie, accidents respiratoires tels que l'asphyxie, l'inhalation de fumée, les nuisances olfactives et la toxicité et Les autres types de risques (risques d'accident de travail, d'électrification et d'électrocution dans ces différentes industries), il y a aussi les moyens de lutte des industries face à ces dangers. Toutes ces données ont été spatialisées ressortant les zones de dangers et leurs moyens de lutte ce qui nous permettra de mieux comprendre la vulnérabilité de l'espace d'Abidjan Sud. Ces données ont été obtenues dans les POI des industries et spatialisées à partir du logiciel Arc Gis.

**Représentation spatiale de la perception des populations :** L'utilisation des cartes mentales n'est pas un fait récent (Lynch, 1960). Si cette technique a parfois été décriée, elle continue d'apporter des résultats intéressants dès lors que sa mise en œuvre est minutieusement pensée. Dans le cas des risques industriels, les cartes mentales ont été introduites à partir d'un questionnaire adressé aux populations vivant dans les zones industrielles d'Abidjan Sud. Par ailleurs, le système de carte mentale qui implique davantage l'enquêté dans la mesure où il ne se contente plus de répondre, mais de « faire » impliquait une réflexion sur la façon et sur le moment d'amener les enquêtés à donner ses zones de risque. Toutefois, contrairement à la méthode de Bonnet et al. (2011, p 3), les enquêtés ne vont pas réaliser le dessin car le niveau d'analphabétisme des populations étant élevé, nous avons opté pour l'utilisation du GPS au cours de l'enquête de terrain afin de localiser leurs coordonnées, à la moitié du questionnaire, la personne devrait se situer et indiquer les lieux de promenade qu'elle fréquentait (questions « Où allez-vous exactement ? Lors des échanges, « l'exercice » de carte mentale ne devrait pas arriver trop tôt, puis dans la troisième section, la question apparaît enfin « Dites à partir de vos connaissances, toutes les zones où il existe selon vous un risque industriel? »). Tous les enquêtés n'ont pas accepté pas de se prêter au jeu. Certains n'ont pu donner de réponses, d'autres, par ignorance ou par méfiance disent ne pas savoir. Les objectifs de cette démarche répondent à un besoin socio-politique important, puis qu'elle s'appuie sur une démarche méthodologique rigoureuse alliant démarche qualitative et quantitative.

**Outils :** Ce questionnaire a été inséré dans le logiciel SPHINX permettant de traiter les données collectées sur le terrain. La représentation de la perception du risque sera établie grâce au GPS et à la carte d'Abidjan Sud. Le logiciel Arc Map permettra de digitaliser les réponses des enquêtés et de réaliser les cartes.

**Échantillonnage :** Les documents statistiques issus des derniers recensements de 2014, par quartier n'étant pas disponibles au moment de la réalisation de nos enquêtes, nous nous sommes servis des données du RGPH 1998. Avec ces données et avec le taux d'accroissement naturel, nous avons établi un calcul qui nous a permis d'avoir les estimations de la population de 2008. Nous avons dénombré une population totale de 136 719,90 habitants provenant des zones industrielles de Treichville, de Marcory, Koumassi et Port-Bouët précisément dans la zone portuaire en zone II, III et IV puis dans la zone industrielle et derrière Wharf, Petit Bassam, Camp douane, Vridi plage, Vridi Canal, Innoh, Zimbabwe, Soweto.

**Détermination de la taille de l'échantillonnage :** Loin d'être une enquête exhaustive, nous avons opté pour la méthode à probabilité inégale à l'aide de la formule statistique suivante :  $n = t^2 * p (1-p) / e^2$  selon Benoit Le Maux, 2008 ; n : la taille de l'échantillon ; P : le taux de pauvreté des ménages : 46,5% selon le recensement de l'INS 2014. Nous avons opté pour le taux de pauvreté des ménages en raison du niveau de risque à proximité des zones industrielles, du niveau de vie des populations et de la proximité près de leurs lieux de travail. Tous ces éléments pourraient justifier le choix de leur installation dans ces différents quartiers illicites. t : niveau de confiance à 95%, (valeur type 1,96) ; e : marge d'erreur 5%, (valeur type 0,05%). La taille de l'échantillon a donné 382 ménages à enquêter. Notre échantillon prend en compte les chefs de ménage seulement. Les 382 ménages seront choisis dans les différentes communes telles que Port-Bouët, Marcory, Koumassi et Treichville.

**Le choix des ménages : Le sondage à plusieurs degrés**

Premier degré : un choix par commune : Nous avons ciblé les communes de la partie Sud d'Abidjan où il existe une zone industrielle. Ainsi sur la base de la population des différents quartiers à visiter, nous avons trouvé la somme de la population totale à interroger. Rappelons qu'à partir de la formule, nous avons trouvé 382 chefs de ménages à enquêter. Sur cette base, nous avons établi une règle de trois. Le tableau I donne le nombre de ménages à enquêter par commune. Au cours de l'enquête, nous aurons à interroger les ménages des habits précaires aux habitats huppés (villa)

Tableau I: Récapitulatif des ménages à enquêter par commune. *Source : Estimation des données de la population de l'INS (1998)*

Commune	Population	Taille de l'échantillon par commune
Port-Bouët	58 909,68	165
Treichville	8 185,86	23
Marcory	10 167,12	28
Koumassi	59 457,24	166

Deuxième degré un choix par quartier

Toutefois la répartition sera faite en tenant compte de la représentativité. Ainsi, la somme totale de la population des communes et le nombre de ménage étant connu, nous avons établi une autre règle de trois pour déterminer le nombre de ménages à enquêter dans chaque quartier. Tous les résultats sont représentés dans le tableau II.

Tableau II : récapitulatif des ménages à enquêter par zone industrielle . *Source : Yao Natacha, 2016*

Commune	Quartier	Population	Nombre de ménage à enquêter
Koumassi	Prodomo	32 686,74	91,25
	Zone industrielle	26 770,50	74,74
Port-Bouët	Derrière Wharf	12 728,34	36
	Camp Douane	5 707,26	16
	Vridi plage	1 448,28	4
	Vridi Canal	31 329,18	88
	Village dePetit-	7 696,62	21
Treichville	Zone industrielle	1 796,58	5
	Zone portuaire	6 389,28	18
Marcory	Zone 4	10 167,12	28

L'objectif de l'enquête est de savoir quelle image ces personnes ont de ces industries. Quels sont les motifs de leur installation? Quel est leur niveau de connaissance du risque? Le questionnaire était constitué des

caractéristiques sociodémographiques des enquêtées, une rubrique sur le risque industriel, sur l'information du risque industriel et la prévention.

## RÉSULTATS

### Répartition du niveau des risques industriels

La commune de Port-Bouët dispose d'une forte concentration des industries soumises à autorisation (61,33%) tandis que celles de Treichville, Koumassi et Marcory se partagent respectivement 13,33% et 12% des industries (figure 2). Cela s'explique par le fort taux d'industries minières dans la zone de Vridi pour des raisons stratégiques et économiques. Parmi ces installations à autorisation, la loi précise que celles-ci occasionnent des risques majeurs (incendies, explosions, émanations toxiques, etc.) font l'objet d'une réglementation spécifique visant notamment à maîtriser l'urbanisation dans leur environnement immédiat (code de l'environnement, article 43, p.14).

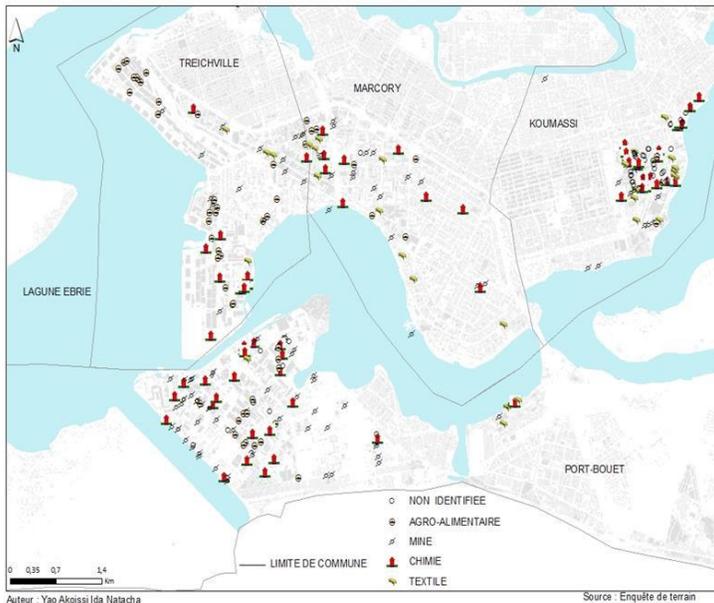


Figure 2: Classification des industries par type d'activité.

La figure 3 présente le zonage selon le plan d'opération interne des industries disponible au CIAPOL. L'absence de plusieurs données (POI des industries) limite les informations sur toutes les zones de protection du risque. Face aux risques d'explosion, quelques industries ont défini des périmètres de risque. Dans la zone industrielle de Koumassi, c'est Tranchivoire 2 qui a déclaré un rayon de 1000m ou 1 km en cas d'explosion sur son site. Toutefois, cela entraînera des dégâts sur toutes les activités environnant le périmètre de 1000 m tous les équipements ainsi que les habitations comme le quartier Sowetho et Yapokro à prodomo étant dans le buffer seront affectés par l'explosion.

A Port-Bouët, ce sont les industries comme AMARJARO, CIPREL, PETROCI BASE LOGISTIQUE, PETRO IVOIRE ET LDC (EX STEPC). De Toutes ces industries, PETROCI a un périmètre de sécurité plus petit tandis que CIPREL englobe pratiquement tous les périmètres de sécurité qui s'étendent sur un rayon de 1000m. Rappelons que ces industries exercent dans le domaine des mines (pétrole, Gaz), de la chimie.

A Treichville, c'est le port Autonome d'Abidjan qui a déclaré un rayon de 100 m comme périmètre de sécurité. En fait, au PAA, il y a des zones de danger, car toutes les zones ne sont pas des zones à risque. Les zones ainsi déclarées à risque sont les zones autour du Port de pêche, du centre social et de la capitainerie.

A l'intérieur de ce rayon, on trouve quelques industries, la cité portuaire où résident plusieurs habitants ainsi que d'autres équipements.

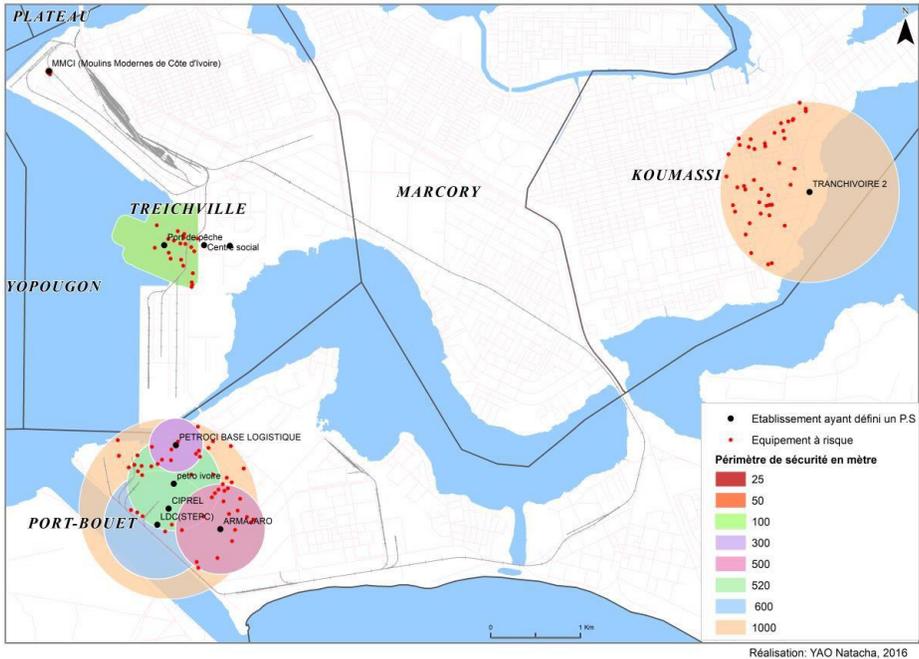


Figure 3: Périmètre de sécurité des industries dans les différentes zones industrielles; (source: CIAPOL, 2013-2016)

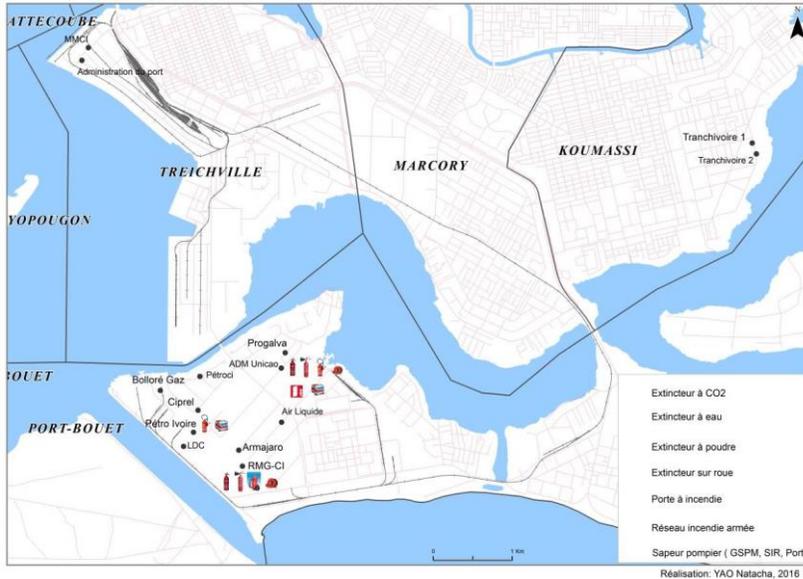
Retenons qu'il y a une forte concentration des activités industrielles et des habitations dans les zones industrielles de Port-Bouët et de Koumassi ce qui accroît la vulnérabilité des populations (tableau III). Par contre, c'est en zone 4 qu'on rencontre les densités de populations les plus faibles.

Tableau III : Estimation de la densité des populations en 2018 à partir de la densité de 1998

Commune	Quartier	Densité 1998	Densité 2018
Koumassi	Zone industrielle	115,76	303,80
Koumassi	Prodomo	288,27	756,53
Marcory	Zone 4C	37,80	99,19
Port-Bouët	Derrière wharf	254,32	667,44
Port-Bouët	Camp douane	256,96	674,34
Port-Bouët	Vridi plage	22,69	59,54
Port-Bouët	Vridi canal	432,37	1134,70
Port-Bouët	Petit-Bassam	121,17	318,02
Treichville	Zone industrielle	06,76	17,74
Treichville	Zone portuaire	12,29	32,26

Source: Estimation INS, 1998

Certaines industries disposent des moyens de lutte contre les incendies. Dans la zone industrielle de Vridi, c'est le cas d'ADM Unicao qui dispose d'extincteur à CO<sub>2</sub>, d'extincteur à eau, d'extincteur à poudre, d'extincteur sur roue, de porte à incendie, réseau d'incendie armée et sapeurs-pompiers. PETRO IVOIRE dispose d'extincteur à eau et de sapeurs- pompiers. RMG-CI dispose d'extincteur à poudre, d'extincteur à CO<sub>2</sub>, d'extincteur sur roue et de réseau incendie armée. Tranchivoire 1et 2 n'ont pas déclaré de moyens de lutte contre les incendies.



Réalisation: YAO Natacha, 2016

Figure 4: Moyens de lutte contre les risques à Abidjan Sud, (source: CIAPOL, 2013-2016)

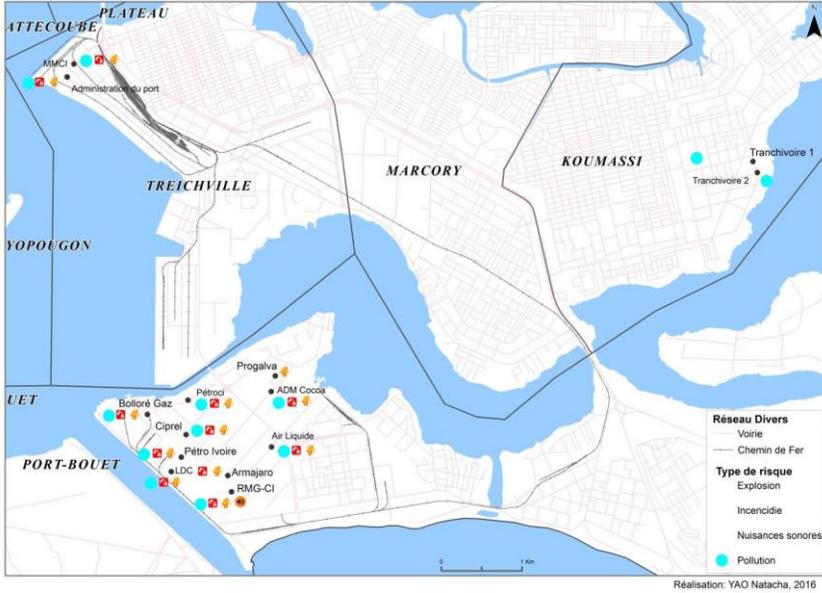
Le PAA dispose d'un service de sapeurs-pompiers pour intervenir en cas de sinistre mais aussi pour prévenir les risques (photo 1). Ils travaillent en réseau avec les sapeurs-pompiers de la SIR, de PETROCI, de GESTOCI, de PETRO IVOIRE et de toutes les compagnies minières, chimiques à risques majeurs très élevés dans la zone. C'est le PAA qui les sensibilise à avoir une équipe de sapeurs-pompiers. Ainsi ils se soutiennent mutuellement en cas d'incendie et lorsqu'ils n'arrivent pas à maîtriser l'incendie, ils demandent l'intervention du GSPM et du BIRMA.



Photo 1 : Base des sapeurs-pompiers du PAA. Source: Vue Yao Natacha, 2016

Dix industries situées dans la zone industrielle de Vridi ayant établies leur POI ont tous déclaré les risques d'incendie, d'explosion, de pollution d'eau et de pollution en COV. Seule l'industrie PROGALVA a déclaré seulement le risque d'explosion. A Treichville, seules deux industries, le PAA et le MMCI ont déclaré les risques d'accident, d'explosion et de pollution. La majorité des industries ayant établies un POI se concentrent dans la zone industrielle de Vridi.

A Marcory, aucune industrie n'a établi de POI récent. A Koumassi, ce sont les industries Tranchivoire 1 et 2 qui ont déclaré les risques d'incendie, d'explosion et de pollution. Toutefois, Tranchivoire 1 a ajouté les nuisances sonores liées à l'activité exercée (figure 5).



Réalisation: YAO Natacha, 2016

Figure 5: Type de risque dans certaines industries ;( source: CIAPOL, 2013-2016)

Outre les risques industriels les plus répandus, certaines industries suite à la particularité de leurs activités, présentent des accidents respiratoires tels que l'asphyxie, l'inhalation de fumée, les nuisances olfactives et la toxicité. Ainsi dans la zone industrielle de Vridi, à ADM COCOA, il y a une exposition au risque de toxicité. Chez RMG, il s'agit des risques de toxicité et de nuisances olfactives. Dans la zone industrielle de Treichville, avec MMCI, on note le risque d'asphyxie et à Koumassi, Tranchivoire 1 déclare le risque d'inhalation de fumée et tranchivoire 2, des nuisances olfactives (figure 6).



Réalisation: YAO Natacha, 2016

Figure 6: Accidents respiratoires de certaines industries à Abidjan Sud, (source: CIAPOL, 2013-2016)

Il s'agit des risques d'accident de travail, d'électrification et d'électrocution dans ces différentes industries. Dans la zone industrielle de Treichville, les MMCI déclarent les accidents de travail et les risques d'électrocution. Au

port, il est question des accidents de travail. ADM COCOA, PETRO IVOIRE, RMG-CI, LDC et Air liquide présentent des accidents de travail, AMARJARO ET ADM COCOA présentent des risques d'électrification et ADM des risques d'électrocution (figure 7)

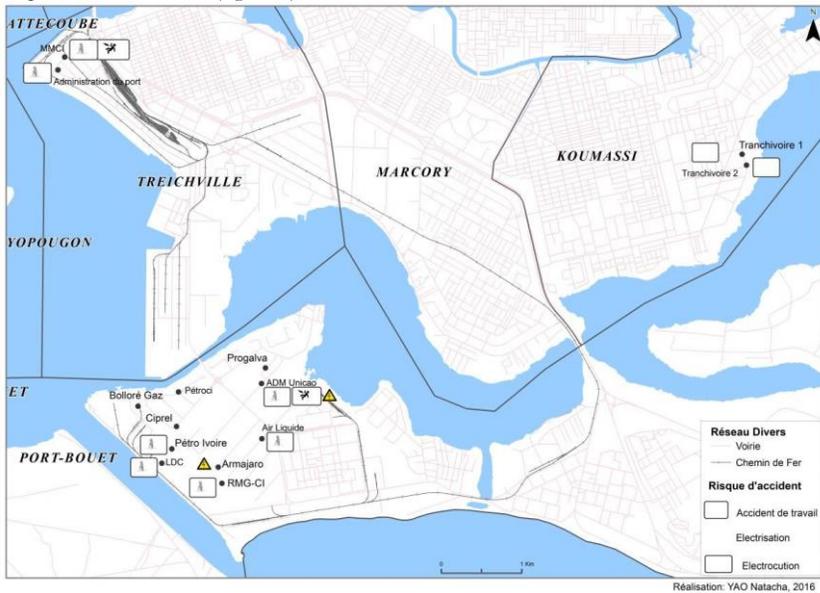


Figure 7: Risque d'accident de certaines industries à Abidjan Sud, (source: CIAPOL, 2013-2016)

### Spatialisation de la perception mentale des risques industriels

La figure 8 représente la carte de localisation des populations enquêtées dans les différentes zones industrielles et les zones témoins. Toutefois, ces représentations ont été réalisées par 237 enquêtés qui ont accepté de répondre sur 382 enquêtés représentant la population totale.

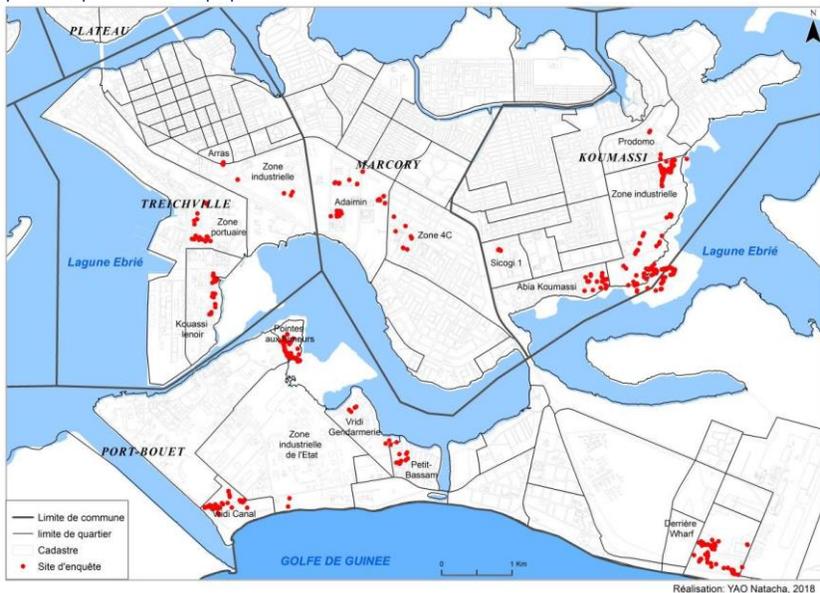


Figure 8: Localisation des populations enquêtées autour des zones industrielles, (Source: Yao Natacha, enquête de terrain 2016)

La figure 9 présente la synthèse de la totalité des cartes issues de l'enquête de perception des populations vivant dans les zones industrielles d'Abidjan Sud. Il s'agit des zones industrielles de Treichville, de Marcory, de Koumassi et de Port-Bouët. Les différentes zones qui ont été définies sont considérées comme des lieux à risques ou non. En fait, Koumassi, Treichville et une grande partie de Port-Bouët représentent la zone de risque très faible selon les populations enquêtées. Dans la partie Est de Vridi, les populations enquêtées la considèrent comme une zone à risque élevé. En effet, celle-ci est située dans la zone où se concentrent les industries minières (SIR, PETROCI, GESTOCI). La partie Sud où se concentre PETROCI appontement, CIPREL... est considérée selon la population d'enquête comme la zone à risque faible. La commune de Koumassi ainsi que sa zone industrielle représentent selon les enquêtés une zone à risque moyen. Ces données représentent la traduction spatiale sous forme de carte de la perception des risques industriels des populations vivant dans les zones industrielles. Toutefois, cette perception n'est donc pas identique à la réalité des faits. Nous avons réalisé la carte des risques préétablis, nous nous sommes basées sur la proximité des industries, le type d'activité réalisées et la classification des industries selon la réglementation en vigueur dans les zones industrielles. Selon les activités réalisées dans les zones industrielles et la proximité des populations, La zone industrielle de Vridi concentre une forte densité des installations industrielles et un taux élevé des industries minières (46,90 %). Il s'agit des industries de gaz, de pétrole, d'électricité. Ce qui fait d'elle, le siège des industries lourdes donc une zone très sensible en matière de risques industriels. La zone industrielle de Port- Bouët détient un faible taux d'industries textiles (03,54%). Aussi, se partagent-elles plusieurs quartiers précaires ou modernes où vivent toutes ces personnes travaillant dans les industries. Cette forte présence des habitations accroît la vulnérabilité des populations.

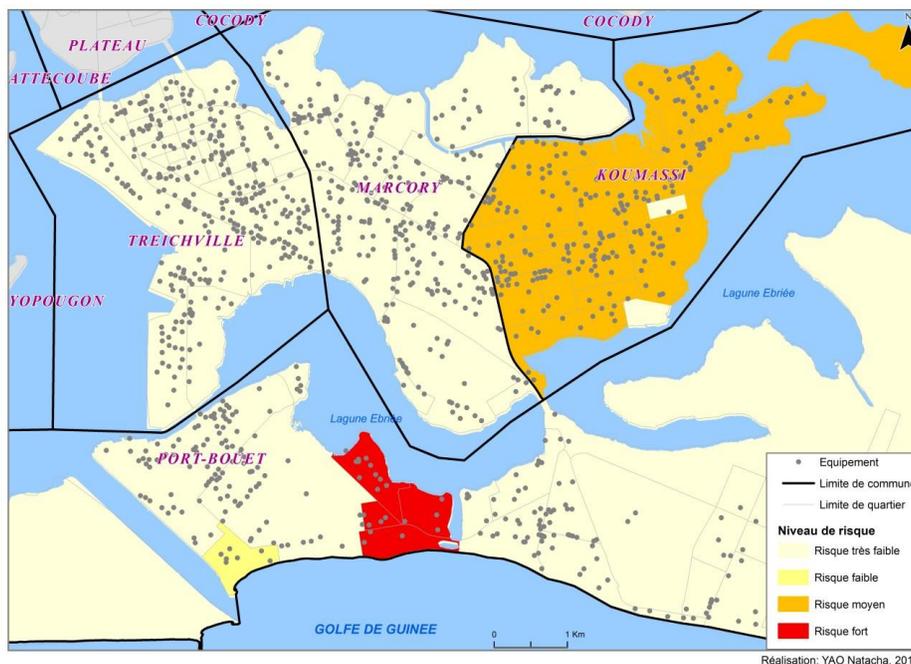


Figure 9: Perception mentale des risques industriels des populations vivant dans les zones industrielles à abidjan sud, (Source: Yao Natacha, enquête de terrain 2016)

Ce résultat est lié d'une part au reflet d'une faible perception des risques industriels. Nous essayerons de répondre à cette préoccupation d'abord en analysant les réponses à plusieurs autres questions de l'enquête. Au cours de l'enquête, lorsqu'il est demandé aux personnes « Avez-vous peur des conséquences de votre proximité avec ces industries? » 62% ont affirmé avoir peur des conséquences de la proximité avec ces industries tandis que 33% ont donné une réponse négative. Sur ceux qui ne semblent pas inquiet, seul 6% expriment la désolation et 21,7% le bien-être. 1,3 % ne savent pas ; cela pourrait exprimer leur ignorance ou le refus de partager leur avis sur le sujet.

A la question, « pensez-vous habitez-une zone à risque? » 51,3% donnent une réponse positive, sur proposition de réponses leur donnant de faire un choix ou plusieurs choix entre la pollution, incendie et explosion. Ainsi, nous avons 40,6% de la population se sentent exposées à la pollution, 27,2% au risque d'incendie et 6,5% au risque d'explosion.

En définitive, 42% estiment qu'il n'existe pas de risque ni autour d'eux ni ailleurs dans les autres zones industrielles. Cela justifie la réponse aux questions liées à la volonté de quitter la zone industrielle et la proposition du déguerpissement par les autorités compétentes. On retrouve la volonté de déguerpir chez les populations qui n'ont aucun niveau et celles qui ont un niveau secondaire (58,4 %). Contrairement, les populations ayant un niveau supérieur refusent de déguerpir même sur proposition de l'Etat (31,7%). Ce refus d'aller s'installer ailleurs est lié à des liens familiaux, maison d'enfance, patrimoine familiale (maison de moyen à haut standing), proximité du lieu du travail, approche stratégique par rapport à l'entreprise. Il s'agit ici pour la plupart des habitants du camp douane à Vridi, de la zone 3 et 4 (Treichville et Marcory), de la citée du Port Autonome d'Abidjan (Treichville). Cela pourrait s'expliquer par leur faible culture du risque industriel malgré leur niveau d'étude. Les populations ne sont donc pas informées sur les risques industriels ce qui accroît leur vulnérabilité dans cette cohabitation industries-habitats. Les travaux de C. Chichignoud (2003, p1) indique qu'il y a un décalage dans le temps entre la construction, l'extension géographique de ce risque, et sa prise de conscience collective, sa traduction dans la réglementation d'une maîtrise de l'urbanisation.

La figure 10 montre les positions des 11 modalités et les coordonnées des 368 observations. 32,8% de la variance est expliquée par les deux axes représentés. Les non-réponses ont été ignorées. Les points de taille au nombre d'observations pour chaque maille de la grille. N1 : Aucun, N2 : Coranique, N3 : Primaire, N4 : Secondaire, N5 : Supérieur, P1 : Non, P2 : Oui, P3 : NSP, Q1 : Non, Q2 : Oui, Q3 :NSP.

L'AFCM (Analyse Factorielle des Correspondances Multiples) nous a permis d'associer trois variables qui sont le déguerpissement par les autorités, la volonté de déguerpir et le niveau d'étude des enquêtés (Aucun, coranique, primaire, secondaire, supérieur).

Il ressort de cette analyse que les populations qui ont un niveau secondaire et celles qui n'ont aucun niveau d'étude acceptent de déguerpir et d'aller vivre ailleurs si l'Etat leur proposait de le faire. Cette population est majoritaire. Les populations qui ont un niveau d'étude supérieur refusent qu'on les déguerpisse et refuse d'aller vivre ailleurs même si L'Etat leur propose d'y aller. Les populations qui ont un niveau d'étude coranique et primaire ne savent pas quoi faire si les autorités leur demandait d'aller vivre ailleurs.

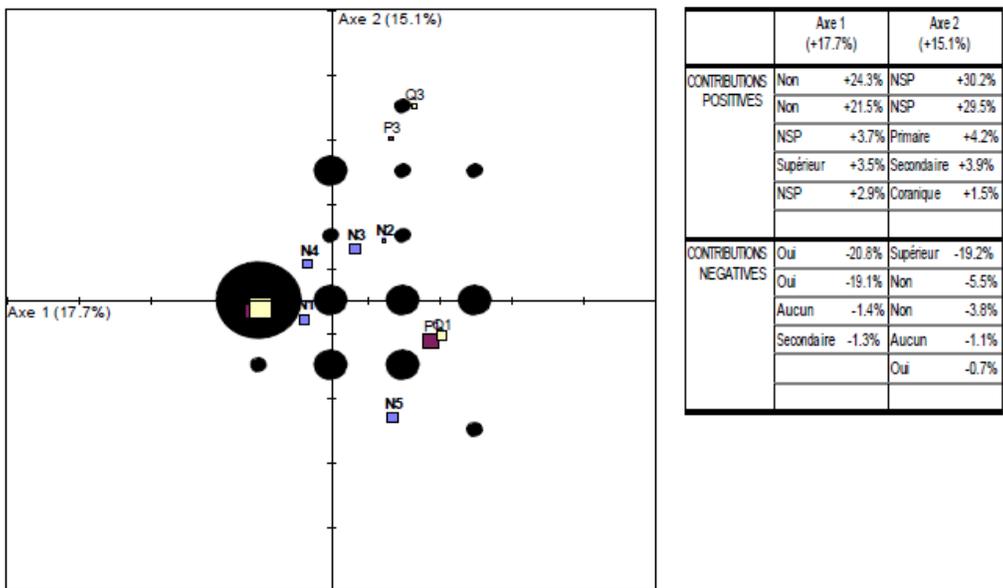
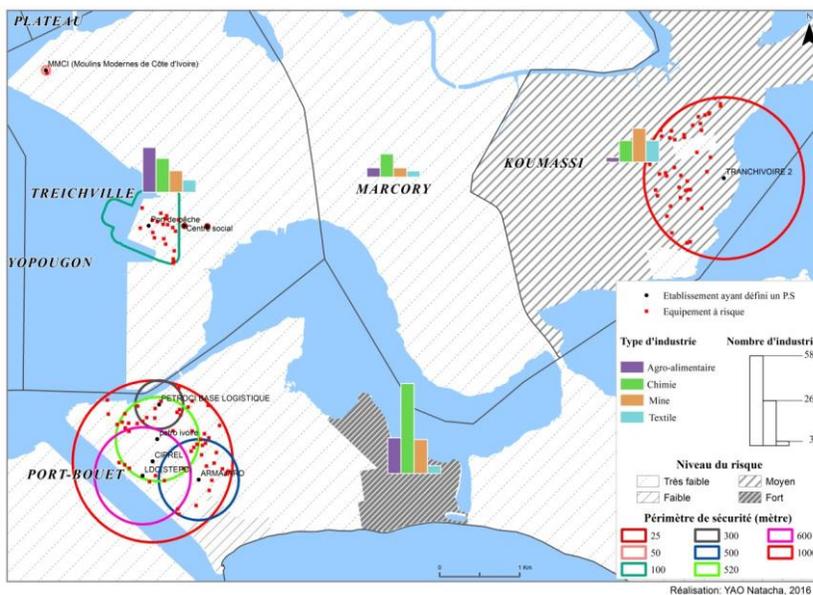


Figure 10: Matrice de corrélation déguerpissement et niveau d'étude des enquêtés, (Source: Yao Natacha, enquête de terrain 2016)

### Croisement avec les zones de risques officielles

Le croisement des cartes de perception et des zones de risques réels a pour but de mieux comprendre le niveau de perception et l'écart des populations dans la connaissance et la compréhension des risques industriels. Dans les zones industrielles de Treichville et de Marcory, les populations ne semblent pas inquiètes des risques que représente la présence des industries, elles estiment que la zone présente des risques très faibles. Pourtant à Treichville, il y a une forte présence des industries agroalimentaires (SCODI, UNILEVER), des industries chimiques (SOCIMAT). Tandis que dans la zone de Marcory détient certes la plus faible concentration industrielle avec une forte présence d'industries minières (41,67%), les industries agroalimentaires, chimiques et textiles se partagent pratiquement les mêmes concentrations (18,75%). C'est la zone la moins risquée selon les enquêtés. La zone industrielle de Port-Bouët est le siège des industries minières (46,90%) (SIR, GESTOCI, PETROCI ...), avec un faible taux des industries textiles (03,54%). Les populations pensent que le risque se situerait dans la zone rouge siège des industries pétrolières. Dans les autres zones industrielles de ladite commune, elles estiment que le risque est très faible malgré la présence des industries chimiques et des autres industries. Les populations enquêtées pensent que la zone de Koumassi présente des risques moyens. La zone de Koumassi est constituée des industries chimiques, minières et agroalimentaires. Tous les enquêtés des zones de Treichville, Marcory et de Port-Bouët estiment que ces zones qui représentent leur lieu de résidence sont des zones à risque faible, toutefois, elles croient que ce sont les individus qui vivent dans les zones de Vridi autour de la SIR et à Koumassi qui sont plus en danger. Ils semblent que les personnes interrogées sous-estiment fortement l'ampleur des zones concernées par des risques industriels. Ici les personnes les plus inquiètes délimitent les risques. Plus, les zones d'extension sont peu importantes et correspondent à peu près aux zonages institutionnels à Vridi tandis qu'à Koumassi, les personnes les plus inquiètes délimitent les risques en exagérant les zones de risques (figure 11).



**Figure 11** : synthèse des cartes mentales des représentations des risques industriels et cartes des risques industriels, (Source: Yao Natacha, enquête de terrain 2016)

### DISCUSSION

**Risque et perception** : L'étude a montré que les industries génèrent des risques d'incendie, d'explosion et d'autres types de risque. Les fortes densités de population augmentent la vulnérabilité de ces zones industrielles en cas de risques industriels. L'on retient aussi le reflet d'une faible perception des risques industriels des populations vivant dans ces différentes zones. Les résultats de cette étude sont similaires à celles d'autres auteurs. Selon E. Bonnet (2011, p. 7), Le risque est localisé chez le « voisin » havalais lors des « focus groups » par

l'expression des personnes interrogées. Les personnes vivant dans les zones industrielles ne se sentent pas exposées aux risques industriels pour la majorité des personnes interrogées. En effet, dans le cadre de notre étude, les populations ne semblent pas s'inquiéter des risques générés par les industries. Tout d'abord, il se peut que les individus fassent une confusion entre les zones dans lesquelles sont implantées les installations à l'origine des risques et les zones administratives qui correspondent plus formellement à des zones de danger en cas de survenue d'un accident industriel. De ce part, leurs tracés refléteraient non pas les zones soumises au risque industriel, mais les zones où sont implantées les établissements à risque. Le second aspect concerne la zone de Vridi, quel que soit la domiciliation des personnes interrogées, elles reconnaissent que la zone industrielle de Vridi précisément autour de la raffinerie et des autres sociétés de gaz, d'Hydrocarbure est une zone à risque très élevé. Par ailleurs, elles semblent ignorer véritablement la zone de danger et se focalisent encore une fois sur la zone institutionnelle des installations industrielles. J. Donze (2005, p. 5) Mais il y a aussi l'idée de renforcer l'acceptabilité de l'industrie et de développer une culture du risque dans la perspective d'une coexistence durable entre la ville et l'industrie. Il s'agit enfin de disposer d'arguments convaincants dans les négociations avec les services de l'État et de la communauté urbaine. Les résidents des zones industrielles de Treichville et de Marcory estiment que ceux de Port Bouët Vridi sont exposés aux risques industriels. De même, ceux de Vridi Zimbabwe ont estimé que les risques industriels ne les concernent pas directement mais que ces risques se situent ailleurs. Les habitants de la zone industrielle de Koumassi estiment qu'il existe des risques industriels dans la commune. Elles ne sont donc pas conscientes des risques industriels encourus suite à la présence autour des industries. Ce fait pourrait s'expliquer par la présence d'établissements anonymes qui mènent des activités dont on ne maîtrise pas les conséquences sur l'environnement et les personnes. Au cours de notre enquête de terrain, nous avons constaté qu'il y avait des unités industrielles mais nous n'avons pu obtenir des informations sur ces dernières car aucun élément n'affichait le nom de l'industrie. C'est à Koumassi que l'on note le taux le plus élevé des industries non identifiées (46,81%). Toutefois, Koumassi aussi dispose des industries à autorisation (12%). Selon l'article 43 de la Loi n° 96-766 du 3 octobre 1996 portant Code de l'Environnement sont soumises à autorisation, les installations qui présentent des dangers ou inconvénients. Les installations soumises à autorisation, qui occasionnent des risques majeurs (incendies, explosions, émanations toxiques, etc.) font l'objet d'une réglementation spécifique visant notamment à maîtriser l'urbanisation dans leur environnement immédiat. Or, la zone industrielle de Koumassi avait été sommairement aménagée pour résoudre le problème de la saturation des zones industrielles portuaires, de Vridi et des zones 3 et 4 et aussi rapprocher l'emploi des quartiers d'habitation d'où la forte densité de la population dans cette zone. Par ailleurs, dans un contexte de développement durable, il serait intéressant d'anticiper la gestion des risques industriels afin de réduire la vulnérabilité des populations (travailleurs et résidents) et de protéger l'environnement et intégrer les risques industriels dans les plans d'urbanisme.

**Faiblesse de l'organisation technique du risque industriel :** Cette étude révèle une insuffisance ou une absence des mesures techniques de prévention des risques. Les mesures techniques pour maîtriser le risque à la source sont les études effectuées par les industriels. Il s'agit de l'étude de dangers, du POI (Plan d'Opérations internes) propre à chaque établissement et du PPI (Plan de Prévention Interne) visant essentiellement à assurer la sauvegarde des populations, la protection de l'environnement lorsque le sinistre est susceptible d'entraîner des dangers débordant les limites de l'établissement. Or, c'est l'étude de dangers qui permet de réaliser le Plan d'Opération Interne (POI). P. Pouchot (2003, p. 4) stipule que l'industriel réalise notamment une étude de dangers. Il explique le produit qu'il souhaite fabriquer, avec quelles matières premières et dans quelles conditions d'utilisation. Cette description du procédé permet tout d'abord d'identifier les dangers potentiels, puis d'évaluer les risques liés au fonctionnement de l'atelier : mise en œuvre des produits, conditions de fonctionnement (pression, débit, températures...), étude des déviations, scénarios d'incidents et d'accidents possibles, avec évaluation des effets et des conséquences. Pour cela, l'industriel utilise, entre autres, la méthode du retour d'expérience, de manière à tirer les enseignements d'éventuels incidents ou accidents antérieurs. Ce qui n'est le cas en Côte d'Ivoire. L'industriel soumis à autorisation ne réalise pas une étude de dangers. Ainsi, sur 317 industries localisées à Abidjan Sud au cours de notre enquête, seules 75 étaient soumises à autorisation donc 23,66% et devraient établir leur POI. Parmi elles, c'est seulement la SIR qui disposait d'une étude de dangers et même à ce niveau, cette étude datait de 2008 et devrait être renouvelée. Certes les études de dangers sont coûteuses mais est-ce que cela justifie le fait que les industriels s'en abstiennent? Y.Veyret, (2006) révèle que les prescriptions des P O I sont souvent inapplicables car elles entraînent des frais importants pour les particuliers. Car, plusieurs industries réalisent leur POI sans étude de dangers. Sur quelle base, les cabinets établissent-ils les POI? Sont-ils fiables? Pourquoi toute cette vice de procédure? Ces POI devraient être établis à partir d'une étude des dangers potentiels présents effectuée par les différentes installations industrielles. Le Ministère d'Etat, Ministère de la défense et de la protection civile (1994) définit le POI comme étant les mesures d'organisation, les méthodes d'intervention et les moyens nécessaires que l'exploitant doit mettre en œuvre en cas d'accident pour protéger le personnel, le matériel, les populations et l'environnement. J. Donze (2005, p. 2) rappelle la loi française du 19 juillet 1976 sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), en particulier, l'obligation pour l'industriel de réaliser une étude de dangers (de même que les études d'impact pour

les grands bassins du risque industriel : l'exemple de la vallée du Rhône Les bassins du risque industriel : l'exemple de la vallée du Rhône 1 travaux). Par ailleurs, elle établissait le principe du contrôle de l'administration sur les activités dangereuses, l'élaboration de Plans d'Opération Interne (POI) et l'organisation des secours à l'extérieur par les représentants de l'État (Plan Particulier d'Intervention : PPI), ainsi que le "droit de savoir" pour la population. Les cartes des études de dangers élaborées par les industriels sont des outils de communication et elles permettent la construction des représentations collectives et individuelles. Leur enjeu est considérable, mais il faut comprendre selon quels scénarios et par quels acteurs elles sont élaborées (J. Donze, 2005, p.1). Toutefois, le comité interministériel valide les POI des installations soumises à autorisation. Un POI établi sans étude de dangers. Du coup, cela devrait remettre en cause les principes de validation des POI par la commission interministérielle. Le constat est que cela semble ne pas déranger les membres qui peut-être se focalisent sur d'autres critères pour valider les POI. Aussi aucun texte institutionnel n'a été mis en place pour aider les membres du comité interministériel. Contrairement à l'étude d'impact environnemental et social, il n'y a aucune disposition réglementaire liée à l'élaboration d'une étude de dangers (ou rapport sécurité), à l'exception de l'instruction du 13 mai 1994.

## CONCLUSION

La réalisation de la cartographie du niveau du risque industriel des populations riveraines des zones industrielles démontre que les populations vivant dans les zones industrielles sont exposées aux risques d'incendie et d'explosion et ont une faible perception des risques industriels. Les populations interrogées dans les zones industrielles de Koumassi et de Port- Bouët estiment que celles vivant autour de la SIR sont plus exposées aux risques industriels. Nous retenons qu'il y a une confusion entre les zones dans lesquelles sont implantées les installations à l'origine des risques et les zones administratives qui correspondent plus formellement à des zones de danger en cas de survenue d'un accident industriel. Ainsi, leurs tracés refléteraient non pas les zones soumises au risque industriel, mais les zones où sont implantés les établissements à risque. Face à cette réalité, l'Etat de concert avec les industriels pourrait accroître la communication sur le risque et les préventions pour un éveil de conscience et pour une meilleure prise en charge en cas d'accident industriel. Cette intégration de la population dans la gestion des risques résoudra probablement le problème de déguerpissement de ces populations sur les terrains des zones industrielles.

## Références

- [1] Bernier Sandrine, (2007), Perceptions des risques industriels et nucléaires. Enjeux, négociations et construction sociale des seuils d'acceptation des risques, Doctorat de sociologie, Université F. Rabelais de Tours École Doctorale S.H.S., 411p.
- [2] Bonnet Emmanuel, (2004), « L'estuaire de la Seine : un territoire vulnérable face aux risques industriels », in Mappemonde revue numérique, 4/2004, N°76.
- [3] Bonnet Emmanuel, GUILLOT Fabien, AMALRIC Marion, CHEVE Morgane, TRAVERS Muriel, (2011) : « Cartographier les représentations mentales du risque industriel. Illustration avec les populations de l'estuaire de la Seine », in ICA, France, icaci.org cité le 27 Janvier 2016.
- [4] Chichignoud Christelle, (2003), La coexistence des villes et de l'industrie en Rhône-Alpes : construction géographique des risques industriels, Risques Infos, n° 14, p1.
- [5] Donze Jacques, (2005 b), « Les bassins du risque industriel : l'exemple de la vallée du Rhône », Géoconfluences, mis en ligne le 13 mai 2005
- [6] Faure Yves-André, (1988), Le monde des entreprises en Côte d'Ivoire, sources statistiques et données de structures, Centre de Petit Bassam : Orstom.
- [7] Grembo Nicolas, (2010), Risque industriel et représentation des risques : Approche géographique de la représentation du risque industriel majeur en région Poitou-Charentes, Thèse Université de LA ROCHELLE.
- [8] Lynch Kevin, (1960), The image of the city, MIT press, Cambridge, Dunod, Paris, 194 p
- [9] Ministère De L'environnement, De La Salubrité Urbaine Et Du Développement Durable, (1996), Loi n° 96-766 du 3 octobre 1996 portant Code de l'Environnement, 27 p.
- [10] Pouchot Patrick, (2003), « La prévention du risque à la source L'exemple de la plate- forme Chimique du Pont de Claix », in Risques Infos n° 14, p. 4-5.
- [11] Propeck-Zimmermann Eliane, SAINT-GERAND Thierry, BONNET Emmanuel, (2009):
- [12] Nouvelles approches ergonomiques de la cartographie des risques industriels, Mappemonde, M@ppemonde 96, 19 p.
- [13] Reghezza Magali, (2006), Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine: la métropole parisienne face au risque de crue centennale, Thèse de doctorat en géographie, Université Paris X-Nanterre, 384 p.
- [14] TRAVERS Muriel, BONNET Emmanuel, CHEVE Morgane, (2009): « Perception des risques industriels dans une zone estuarienne: une analyse hédonique spatiale », in économie & prévision n°190-191, p. 135-158.
- [15] Veyret Yvette, Reghezza Maggali, (2006), « Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité », Annales des Mines, série responsabilité et environnement, n°43, juillet, p. 9-13.
- [16] Yapi-Diahou Alphonse, (2000), Manipulations foncières sur les zones industrielles dans les villes africaines, APAD, 427, mis en ligne le 12 juillet 2006, 10 p.

## Contribution de l'intelligence artificielle à la prévision des débits dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama, Côte d'Ivoire)

Assoko Adjoa Victoire Sandrine<sup>1</sup>, Kouassi Amani Michel<sup>2</sup>, Koffi Yao Blaise<sup>3</sup>

1. Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Ecole Doctorale Polytechnique (EDP), B.P. 1093 Yamoussoukro, (Côte d'Ivoire).
2. Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) ; Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi) ; Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques ; (Côte d'Ivoire).
3. Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan (INP-HB) ; Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire ; Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEEI).

### Résumé

L'objectif de cette étude est de développer des modèles de prévisions de débits mensuels dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama) à partir de l'intelligence artificielle. Pour y parvenir, des données hydrologiques et hydrométrique ont été utilisées. Il s'agit des données de pluies, de température et de débit au pas mensuel collectées sur la période 1961-2017. La méthodologie employée a nécessité la définition d'architecture des modèles, le calage et la validation des modèles, l'évaluation de la performance des modèles sur la base des scores déterministes (coefficient de corrélation, la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne, le critère de Nash-Sutcliffe), scores de contingence, le paramètres de la robustesse et les représentations graphiques. Il ressort de cette étude qu'en phase de calage le coefficient de corrélation varie entre 0,70 et 0,84 soit une moyenne de 0,78 et les critères du RMSE et du Nash présentent des moyennes respectives de 0,62 et 61%. En phase de validation, les performances sont supérieures à celles obtenues en phase de calage. En effet, les valeurs du Nash oscillent entre 47 et 79% pour une moyenne de 65%, tandis que le coefficient de corrélation varie entre 0,75 et 0,89. Enfin, le critère du RMSE fluctue entre 0,22 et 0,35 pour une moyenne de 0,28. Par ailleurs, quel que soit le modèle (1, 2 et 3), le délai de 1 mois présente les meilleures valeurs, suivi des délais de 2 mois et 3 mois. En termes de critère de Nash- Sutcliffe, on peut dire que les modèles 2 et 3 ont été performants suivi du modèle 1.

**Mots clés :** Prévision, modèle, délai, débit mensuel, Marahoué (Bandama), Côte d'Ivoire.

### Forecast of monthly flows in the Marahoué watershed (Bandama, Côte d'Ivoire)

#### Abstract:

The objective of this study is to develop forecasting models for monthly flows in the watershed of Marahoué (Bandama). To do this, hydrological and hydrometric data were used. This is monthly data on precipitation, temperature and flow collected during the period 1961-2017. The methodology used required defining the structure of the models, calibrating and validating the models, and evaluating the performance of the models on the basis of deterministic scores (correlation coefficient, mean squared error, Nash-Sutcliffe), scores of contingency, robustness parameters and graphical representations.

It emerges from this study that in the calibration phase the correlation coefficient varies between 0.70 and 0.84, i.e. an average of 0.78 and the RMSE and Nash criteria have respective averages of 0.62 and 61%. . In the validation phase, performance is superior to that obtained in the calibration phase. Indeed, the Nash values oscillate between 47 and 79% for an average of 65%, while the correlation coefficient varies between 0.75 and 0.89. Finally, the RMSE criterion fluctuates between 0.22 and 0.35 for an average of 0.28. In addition, whatever the model (1, 2 and 3), the 1-month period presents the best values, followed by the 2-month and 3-month periods. In terms of the Nash-Sutcliffe criterion, we can say that models 2 and 3 performed well followed by model 1.

**Key Words:** Forecast, model, lead time, monthly throughput, Marahoué (Bandama), Côte d'Ivoire.

<sup>1</sup> Corresponding author: [michel.kouassi@inphb.ci](mailto:michel.kouassi@inphb.ci)

## INTRODUCTION

L'apparition de la question du réchauffement climatique à la fin des années 1980 est l'un des symptômes manifestes de la problématique de l'usage rationnel des ressources naturelles. Le protocole de Kyoto signé en 1997, témoigne d'une prise de conscience des Nations Unies à agir de façon concertée pour une réorientation du développement économique à l'échelle globale. L'eau étant un constituant biologique important, la protection de ce bien vital a motivé la création de plusieurs programmes, notamment celui des Nations Unies (UN-Water), et d'une évaluation annuelle [Global Annual Assessment of Sanitation and Drinking-Water (GLAAS)], coordonné par l'OMS.

Néanmoins, la volonté de coordonner les actions au niveau des États ne s'est pas toujours traduite par la prise de mesures nationales idoines au sein des pays signataires du fait de la diversité des enjeux d'urbanisation et des priorités de développement économique. Or, force est de constater que l'enjeu climatique et par conséquent la gestion des ressources en eau impacte très fortement les autres défis à relever. En effet, les changements climatiques se manifestent dans bien des cas, par des anomalies et des crises plus ou moins aléatoires, parfois des phases successives d'excédents (inondations) et dans d'autres cas des déficits hydriques (sécheresse). En vue de pallier les insuffisances liées à la réduction du risque hydro-climatique, 715 projets d'adaptation et de résilience aux changements climatiques (CC) ont été planifiés et/ou exécutés à partir de 2010, pour un montant de 7,3 milliards de dollars américains dans les 17 pays de l'Afrique de l'Ouest [1].

La Côte d'Ivoire, n'étant pas épargnée, elle subit également de plein fouet depuis quelques décennies, les effets des changements causés par les phénomènes climatiques extrêmes. En effet, les inondations ont un impact considérable sur la population, touchant environ 60 000 personnes par an, soit 0,3% de la population totale du pays [2]. Au cours de l'année 2018, les inondations ont touché plus de huit (8) grandes villes sur le territoire, affectant plus de 10 mille personnes rien que dans les villes de Bouaflé et Zuenoula. Par ailleurs, les dommages dans la seule ville d'Abidjan ont été évalués à plus de 18 milliards de FCFA, et les besoins suite à ces inondations urbaines, s'élèvent à près de 200 milliards de francs CFA [3].

Ainsi, cette étude s'inscrit dans une dynamique, d'anticipation du phénomène afin de le prévoir dans la mesure du possible. L'objectif de cette étude est donc de développer des modèles de prévision de débit du fleuve Marahoué. Bien évidemment, on entend par prévision dans le cas de notre travail, l'utilisation de l'information passée et présente pour estimer un débit extrême (crue ou étiage) pour un ou plusieurs instants dans le futur.

Pourquoi est-il utile d'avoir des estimations du débit pour des instants futurs d'un cours d'eau à un endroit donné? Pour répondre à cette question, il est recommandé de penser à deux des phénomènes les plus catastrophiques dans le monde que sont les inondations et les périodes de sécheresse [4]. Bien qu'il soit difficile de discerner une tendance sur le nombre de personnes tuées dans les catastrophes naturelles, on constate une augmentation du nombre d'événements et de personnes affectées par les catastrophes dans les dernières décennies. On pourrait croiser cette dernière évolution avec la démographie mondiale, l'urbanisation galopante et l'augmentation significative des températures depuis 1980. En moyenne par an, de 2000 à 2005, près de 300 millions de personnes ont été affectées par les catastrophes naturelles et près de 78 000 y ont trouvé la mort [5]. En outre, tous les domaines d'activités sont impactés. S'agissant du secteur de la santé, nous pouvons citer l'étude menée par Servat et Lapetite [6] relative à la prévision hydrologique dans le cadre de la lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'Ouest. Selon les auteurs, le logiciel Perles développé par l'ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, organisme aujourd'hui remplacé par l'IRD) a permis l'amélioration du rendement des traitements et la réduction des coûts de fonctionnement du programme de lutte contre l'onchocercose.

Au cours des vingt dernières années, les hydrologues ont commencé à appliquer des techniques d'intelligence artificielle pour estimer et prévoir différents phénomènes hydrologiques [7]. Parmi ces techniques le plus célèbre est le Réseau de neurones artificiels "RNA" [7-12].

En ce qui concerne la modélisation pluie-débit, de nombreuses études ont montré que les réseaux de neurones artificiels offrent de bonnes perspectives [13-16]. En effet, la relation pluie-débit, et généralement les phénomènes hydrologiques sont considérés comme dynamiques, non linéaires et souvent difficiles à modéliser. De ce fait, l'application de l'apprentissage statistique à ce champ scientifique est donc logique [17].

Ainsi dans le cadre de cette étude la méthodologie appliquée a consisté à développer des modèles sur la base des RNA. L'application des modèles développés selon différents délais (mois) a permis de déterminer le meilleur délai de prévision et la meilleure architecture de modèle.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de la Marahoué ou Bandama rouge est situé en Côte d'Ivoire entre les longitudes 5°5' et 7°1' Ouest et les latitudes 6°7' et 9°5' Nord (figure 1). Il a une superficie de 24300 km<sup>2</sup> (25% de la superficie totale du bassin versant du Bandama). La Marahoué est l'affluent rive droite le plus important du Bandama. Le cours d'eau principal, la Marahoué est encadré par deux affluents: le Béré à l'Est et le Yani ou Bahoroni à l'Ouest, il se jette dans le Bandama blanc à l'endroit où se trouve le village de Bozi, peu après la ville de Bouaflé.

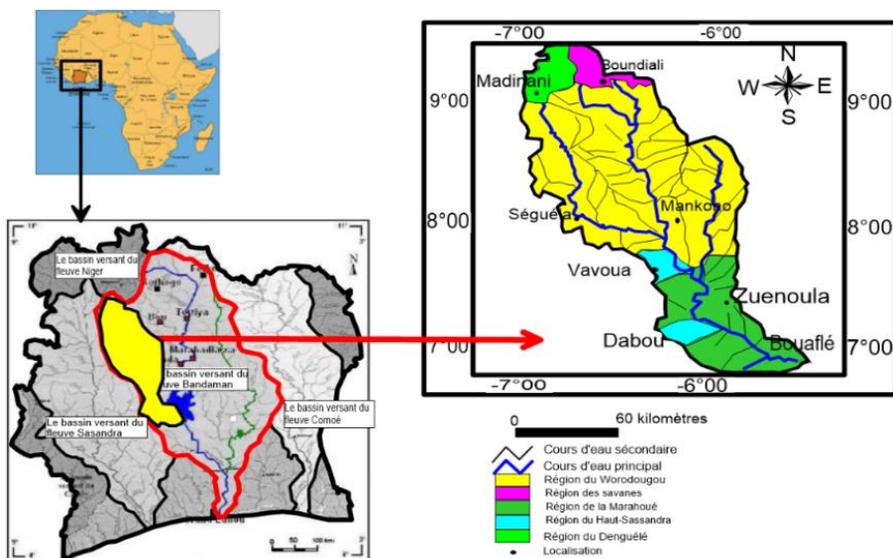


Figure 1 - Localisation géographique de la zone d'étude

Les régimes climatiques observés sur le bassin de la Marahoué sont le régime tropical de transition (climat soudanais) dans la partie nord et le régime équatorial de transition atténué (climat baouléen) dans la partie sud (Figure 2). En effet, le climat soudanais (Boundialy) est caractérisé par des pluies annuelles généralement inférieures à 1200 mm. Il s'agit d'un régime unimodal à deux saisons. Une saison pluvieuse de sept (7) mois allant d'avril à octobre avec le pic en août et une saison sèche qui va de novembre à mars, soit cinq (5) mois. Le trimestre le plus pluvieux est le JAS (juillet-août-septembre). Le climat baouléen (Bouaflé) est marqué par des pluies annuelles comprises entre 1200 et 1600 mm. C'est un régime climatique bimodal à deux saisons. Le pic le plus important est celui de septembre suivi de celui de juin. Ce régime est défini par une saison pluvieuse de huit (8) mois allant de mars à octobre et une saison sèche de quatre (4) mois qui va de novembre à février.

Le bassin de la Marahoué se caractérise par une végétation savanicole dans le Centre et une végétation préforestière dans la partie sud. Le relief du bassin est caractérisé des plateaux accidentés dans le Nord-Ouest (400 m). Plus au Sud, on a un ensemble assez homogène de plateaux (3 à 400 m) (Mankono-Séguéla). La région septentrionale est caractérisée par des reliefs isolés. Le bassin de la Marahoué est dominé par des sols ferrallitiques. La géologie de la Marahoué fait partie intégrante du domaine Baoulé-Mossi appelé également domaine protérozoïque de la dorsale de Man. Il est situé à l'Est de la faille de Sassandra. Schématiquement, il se présente comme un ensemble de gneiss formant le socle des formations supracrustales d'origine volcanique, subvolcanique, et sédimentaire mises en place ou déposées au sein de nombreux sillons ou bassins intracratoniques, dans lesquels se sont mis en place les granites du cycle éburnéen. Ces éléments (végétation, relief, types de sol, etc.) définissent les conditions physiques de l'écoulement.

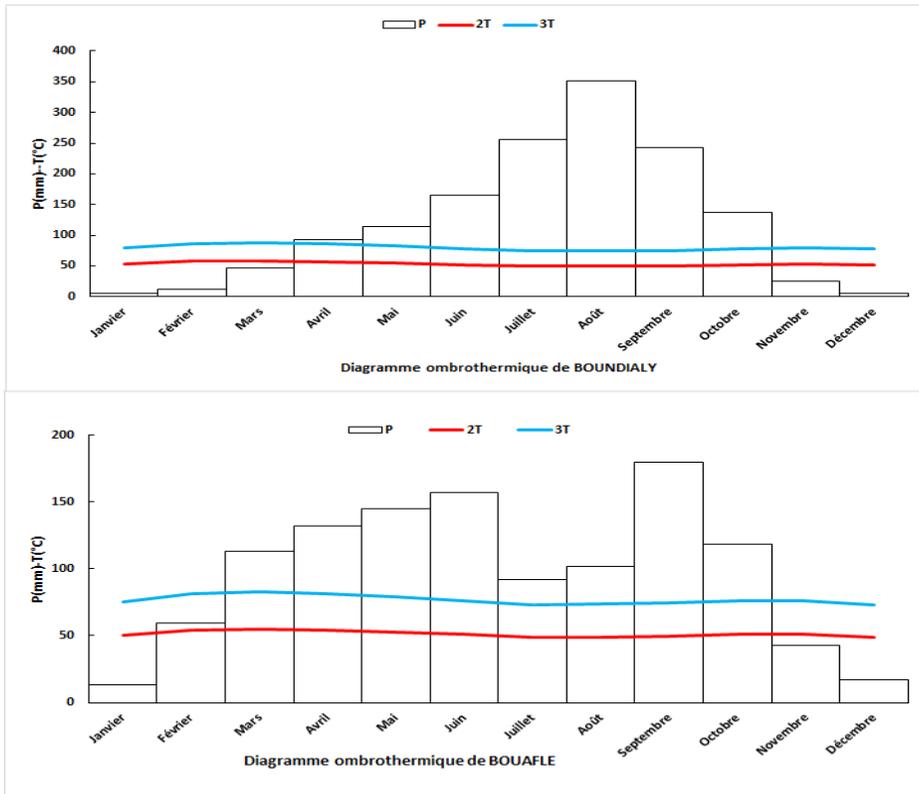


Figure 2 - Régimes climatiques du bassin versant de la Marahoué (Bandama)

La figure 3 présente le régime hydrologique de la Marahoué à la station hydrométrique de Bouaflé. On y observe un régime relativement simple avec un minimum en février et un maximum au mois de septembre. La période de faible écoulement s'étend de décembre à juin tandis que la période de forts écoulements s'étend quant à elle, de juillet à novembre.

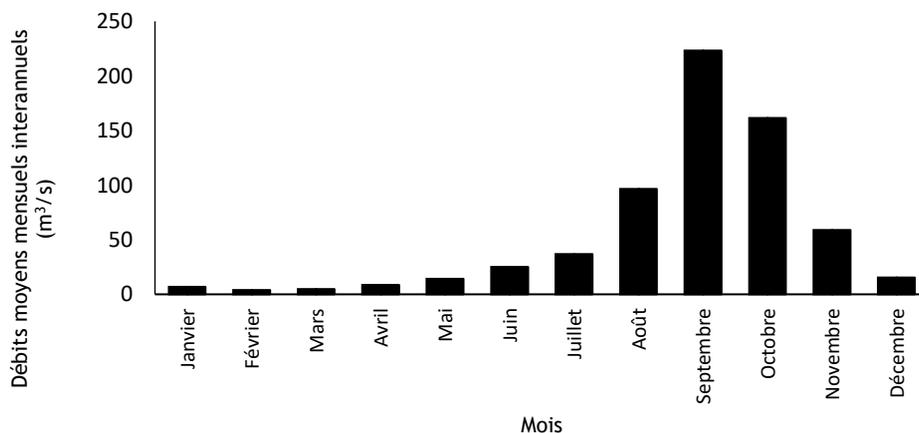


Figure 3 - Régime hydrologique du bassin versant de la Marahoué (1961-2017)

## Données

Les données climatiques utilisées au cours de cette étude ont été mises à notre disposition par la Société D'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) à travers la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). Il s'agit des données de pluviométrie (mensuelle) et de température (mensuelle). Les stations retenues ont été sélectionnées afin de constituer, un échantillon le plus représentatif possible de la variabilité des conditions hydro-climatiques à l'échelle du bassin versant de la Marahoué. Dans le but de garantir une couverture relativement homogène, en fonction des données disponibles, des stations pluviométriques ont été retenues au Nord, au Centre et au Sud du bassin versant de la Marahoué. Ainsi, le réseau pluviométrique sélectionné compte dix (10) postes à savoir Béoumi, Bouaflé, Boundiali, Dianra, Kani, Madinani, Mankono, Séguela, Vavoua et Zuenoula. Les données pluviométriques collectées s'étendent sur la période 1961-2017. S'agissant des données de températures au pas de temps mensuel, elles ont été collectées aux stations de Korhogo, Odienné, Daloa et Yamoussoukro. Les données de température sur la période 1961-2017 de ces quatre stations ont été utilisées pour calculer la température moyenne sur le bassin versant de la Marahoué. En ce qui concerne l'ETP, elle a été évaluée à partir de la méthode de Thornthwaite. Les données débits mensuels ont été mises à notre disposition par la Direction Générale des Infrastructures de l'Hydraulique Humain (DGIHH). Ces données ont collecté au niveau de la station hydrométrique de Bouaflé, couvrent la période 1961 – 2017 (57 ans).

## METHODOLOGIE APPLIQUEE

L'approche méthodologique a conduit à l'élaboration de modèles basés sur l'intelligence artificielle. Le choix du modèle s'est porté sur les RNA (reseaux de neurones artificiels), entre autres pour leur performance et leur robustesse. Il s'agit d'un modèle empirique non linéaire [18-19]. Ainsi, le choix des variables et l'architecture des modèles a été réalisé avant la mise en forme des données. Par la suite, les performances des modèles ont été réalisées sur la base de scores déterministes et de scores de contingence.

### Choix des variables et architecture des modèles

Le choix des variables qui ont été utilisées pour la conception des modèles de prévision de débit au niveau du bassin versant de la Marahoué (Bandama) est basé sur une synthèse de travaux antérieurs [20-25]. Les variables météorologiques généralement utilisées concernent la pluviométrie, l'évapotranspiration potentielle et la température. Quant à la variable hydrométrique généralement utilisée, elle concerne les données de débit.

Ainsi, il a été utilisé une base de données constituée de quatre variables au pas de temps mensuel. Ces variables sont définies comme suit :

- Trois variables indépendantes (explicatives) : précipitations, températures de l'air et ETP ;
- Une variable dépendante (à expliquer) : débits moyens.

Le recours aux observations d'autres phénomènes que l'on croit précéder ou accompagner le phénomène que l'on cherche à prévoir est très important. Les précipitations, la température et l'ETP constituent des phénomènes essentiels conditionnant, avec plus ou moins de retardement, le phénomène de l'écoulement.

Cette influence largement démontrée dans la caractérisation, nous emmène à rechercher et formuler certaines corrélations, susceptibles d'être utilisées en matière de prévisions entre le débit d'un mois «  $Q_t$  », ses paramètres (P, T, ETP) à l'instant «  $t$  » et les paramètres du mois ou des mois futurs. Il est également très pertinent de rechercher et d'utiliser les débits antérieurs à  $Q_t$ . En effet, selon l'annuaire hydrologique (1948) ou encore le Guide des pratiques hydrologiques (2012), la prévision est d'autant plus efficace que le débit qu'on se propose de pré-estimer dépend plus du débit antérieur que des précipitations à venir, que l'on ignore.

De ce fait, la question qui justifie les paragraphes ci-dessous, est la suivante: dans quelle mesure les facteurs présentés précédemment interviennent dans le conditionnement de l'indice du débit futur  $Q_{t+1}$ ? Pour y répondre, chaque paramètre d'entrée a été considéré aux instants  $t-2$ ,  $t-1$ ,  $t$ , et  $t+1$ . Toutefois les pondérations affectées aux instants  $t-2$  et  $t-1$  ont été moins prononcées car influençant beaucoup moins la variable expliquée.

De ce fait, les variables retenues en définitives sont les suivantes :

- La pluviométrie :  $P(t)$ ,  $P(t+1)$  ;
- L'évapotranspiration potentielle :  $ETP(t)$ ,  $ETP(t+1)$  ;
- La température :  $T(t)$ ,  $T(t+1)$  ;
- Le débit :  $Q(t)$ .

Sachant que la recherche et la validation d'un modèle sont parmi les domaines les plus difficiles de la statistique, nous avons prêté une attention particulière dans la sélection des variables. Selon Akossou et al. (2005), la construction d'un modèle commence par le choix des variables explicatives potentielles. Ce choix se fait sur la base de la connaissance que l'on a du problème mais il est souvent aussi lié à la disponibilité des informations comme expliqué dans le chapitre sur la critique des données.

Pour ce qui est de cette étude, la méthode a consisté à établir l'équation en choisissant les variables a posteriori, c'est-à-dire une sélection pas à pas. Elle correspond à une procédure très couramment utilisée en pratique. Le modèle théorique, n'étant pas connu, nous procédons à la recherche du modèle en excluant les variables jugées non pertinentes, au vu des données dont on dispose. Appelée aussi méthode « Backward Selection ou Régression Descendante », elle débute avec le modèle le plus complet et élimine une à une les variables de moindre importance (la possibilité de récupérer certaines variables éliminées est prise en considération). Le principe d'élimination consiste à calculer la signification statistique (p-value) de chaque variable tout en gardant les autres et éliminer la variable  $X_j$  la moins significative. On conserve les variables les plus pertinentes, c'est-à-dire, celles dont la p-value est la plus faible. Cette analyse est basée sur le test de Student au seuil de 5%. En effet, les variables pertinentes sont celles pour lesquelles la probabilité p (p-value) est inférieure ou égale à 0,05. On arrête le processus d'élimination en choisissant le modèle qui précède l'élimination d'une variable "significative".

Les combinaisons de variables ont été étudiées en considérant les pas de temps allant de t-2 à t+1. Toutefois, les résultats présentés sont limités à ceux obtenus pour les sous-ensembles constitués des pas de t à t+1 (trois architectures). S'il est vrai que ces combinaisons présentent de fortes valeurs du coefficient de détermination, elles ont également été retenues pour faciliter l'utilisation des modèles en fonction des données disponibles.

De manière générale, l'architecture d'un modèle donné se présenterait comme suit :

$$I = f[P(t), P(t+1), T(t), T(t+1), Q(t), Q(t+1)] \quad (1)$$

Avec :

- I : indice de débit du mois prévu ;
- P(t) : Indice de pluie du mois t ;
- P(t+1) : Indice de pluie du mois t+1 ;
- T(t) : indice de température du mois t ;
- T(t+1) : indice de température du mois t+1 ;
- Q(t) : indice de débit du mois t ;
- Q(t+1) : indice de débit du mois t+1.

Les résultats du test de Student ont permis de proposer les architectures des modèles développés qui se présentent comme suit :

$$\text{modèle 1 : } Q(t+1) = f[P(t), P(t+1), Q(t), Q(t+1)] \quad (2)$$

$$\text{modèle 2 : } Q(t+1) = f[P(t), P(t+1), T(t), T(t+1), Q(t), Q(t+1)] \quad (3)$$

$$\text{modèle 3 : } Q(t+1) = f[P(t), P(t+1), ETP(t), ETP(t+1), Q(t), Q(t+1)] \quad (4)$$

### Mise en forme des données

Les indices « I » de débit correspondant aux variables dépendantes ont été normalisées dans l'intervalle [-1,1], calculés comme suit :

$$I_i = \frac{Q_i - Q_0}{\sigma} \quad (5)$$

Avec :

- $I_i$  : indice de débit du mois i ;
- $Q_i$  : débit moyen du mois i ;
- $Q_0$  : normale hydrologique de la période de référence (1961-1990) ;
- $\sigma$  : écart-type des débits mensuels sur la période de référence (1961-1990).

Les données d'entrée (pluie, température, ETP, débit) sont des valeurs brutes non transformées qui ont des ordres de grandeurs très différents selon les variables. Afin d'uniformiser les échelles de mesures, ces données

ont été converties en valeurs standardisées. Ainsi, les valeurs ont été normalisées à partir de la relation suivante [26]:

$$X_n = 0,05 + 0,9 \times \left( \frac{X_r - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right) \quad (6)$$

Avec :

- $X_n$  : valeur normalisée ;
- $X_r$  : valeur à normalisée ;
- $X_{max}$  : valeur maximale de la série ;
- $X_{min}$  : valeur minimale de la série.

### Procédure de calage et de validation du modèle

Dans ce travail, ce sont utilisés les réseaux de neurones non récurrents de type PMC qui ont été utilisés. Le choix d'exploiter un type de réseaux de neurones par rapport à un autre n'est pas arbitraire, mais repose sur les fondements qu'exige le problème en question. Sachant que chaque type de réseaux, en termes d'apprentissage, est conseillé pour une application donnée. Nous avons opté donc pour le PMC puisqu'il répond aux spécificités du problème de prédiction. Ce type de réseaux a été récemment validé comme outil pertinent de prévision et de simulation des débits [27]. De plus le Perceptron Multicouches est le Réseau de neurones le plus utilisé en modélisation hydrologique [28-29].

Pour déterminer l'architecture du réseau à utiliser, il nous faut varier le nombre de couches cachées, le nombre de neurones dans une couche cachée, les fonctions de transfert, le nombre d'itérations et le pas d'apprentissage [30]. Nous avons choisi de diviser notre base de données en deux sous-ensembles qui se présentent comme suit :

- De 1961 à 1990 (période de référence): pour l'apprentissage;
- De 1991 à 2017: pour la validation.

Comme mentionné précédemment, la structure du réseau dépend étroitement de la base de données, constituée de couples entrées-sorties, choisis. Le nombre de nœuds d'entrées et de sorties est généralement imposé par la fonction à approximer. Le premier est déterminé par le nombre de variables utilisées en entrée. Dans notre étude, nous disposons de quatre variables. Pour la couche de sortie, le nombre de neurones est déterminé par le nombre de sorties à approximer, c'est à dire la variable qu'on veut prédire. L'objectif étant de prédire le débit, il a été utilisé qu'un seul neurone dans la couche de sortie [31].

### Performance des modèles

La performance des modèles a été évaluée à l'aide de critères déterministes, de critères de contingence et de représentations graphiques entre débits observés et simulés. L'analyse des résultats de simulation est portée sur les performances des modèles en phase de calage et en validation. En effet, les performances en calage sont moins révélatrices des réelles capacités de simulation des modèles. Celles-ci sont mieux exprimées par la validation.

Les scores déterministes sont composés du coefficient de corrélation, la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), le critère d'optimisation de Nash-Sutcliffe et le paramètre de robustesse. Par ailleurs, les scores de contingence mettent en évidence le skill, la probabilité de détection (POD), la fausse alerte (FAR) et le taux de coïncidence. A ces critères numériques, s'ajoutent des représentations graphiques qui sont privilégiés pour la comparaison visuelle des débits simulés et observés.

**Scores déterministes**

- **Critère de Nash-Sutcliffe** : Le critère de Nash-Sutcliffe mesure la performance du modèle par rapport à un modèle qui utiliserait la valeur moyenne comme valeur simulée. Le modèle est considéré comme performant quand les débits estimés se rapprochent des débits observés, c'est-à-dire quand la valeur du critère de Nash est proche de 100. Le critère de Nash-Sutcliffe accorde plus d'importance aux erreurs sur les forts débits. Ainsi en pratique, il convient de garder cette propriété à l'esprit pour l'interprétation des performances des modèles ou de transformer les variables sur lesquelles on calcule le critère. Le critère de Nash-Sutcliffe est donné par la formule suivante [32]:

$$\text{Nash} - \text{Sutcliffe} = (100) * \left(1 - \frac{\sum_i(Q_i - Q'_i)^2}{\sum_i(Q_i - \bar{Q}_i)^2}\right) \quad (7)$$

$Q_i$  et  $Q'_i$  respectivement les débits mesurés (observés) et calculés pour les  $i=1, \dots, N$ ,  $Q'_i$  est la moyenne des débits calculés. Par ailleurs, l'échelle suivante peut être utilisée pour apprécier la qualité de la simulation [32] :

- Nash-Sutcliffe  $\geq 90\%$ , le modèle est excellent ;
- Nash-Sutcliffe compris entre 80% et 90%, le modèle est très bon ;
- Nash-Sutcliffe compris entre 60% et 80%, le modèle est bon ;
- Nash-Sutcliffe  $\leq 60\%$ , le modèle est mauvais.
- **Coefficient de corrélation (R)** : Le coefficient de corrélation (R) est utilisé pour mesurer la corrélation linéaire entre la variable réelle ou mesurée et la variable simulée. L'expression du coefficient de corrélation s'établit comme suit [27]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}) \times (Q_{pi} - \bar{Q}_{pi})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \times \sum_{i=1}^n (Q_{pi} - \bar{Q}_{pi})^2}} \quad (8)$$

Avec :

- $Q_i$  : le débit mesuré ;
- $Q'_i$  : le débit prévu ;
- $\bar{Q}$  : la moyenne des débits mesurés ;
- $\bar{Q}'$  : la moyenne des débits simulés.

Dans le cadre de ce travail, un seuil de 0,6 a été retenu [33].

- **Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE)** : La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est utilisée comme la mesure de la performance globale du modèle. Le modèle est bien optimisé si la valeur de RMSE est proche de zéro, ce qui tend vers une parfaite prévision. Sa formulation mathématique est donnée par la relation suivante :

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{pi})^2}{n}} \quad (9)$$

Avec :

- $Q_i$  : le débit mesuré au pas de temps  $i$  ;
- $Q'_i$  : le débit simulé pour le pas de temps  $i$  ;
- $n$  : le nombre de simulations.

**Scores de contingence**

Pour déterminer les scores de contingence, on classe les indices par ordre croissant. Le premier tiers correspond aux années sèches (période déficitaire), le second tiers aux années proches de la normale (période normale) et le dernier tiers aux années humides (période humide) [33-35]. Pour permettre l'évaluation des prévisions, des critères ont été définis : pourcentage de coïncidence (C), probabilité de détection d'un mois sec ou humide (POD), fausse alerte du premier ordre (FAR) et performance du modèle (HSS). Les éléments de base servant au calcul des différents critères sont récapitulés dans la table de contingence (tableau 1).

**Tableau 1** - Table de contingence

		Prévisions			Total
		Sèche	Normale	Humide	
Observations	Sèche	$N_{11}$	$N_{12}$	$N_{13}$	$\sum_{j=1}^3 N_{1j}$
	Normale	$N_{21}$	$N_{22}$	$N_{23}$	$\sum_{j=1}^3 N_{2j}$
	Humide	$N_{31}$	$N_{32}$	$N_{33}$	$\sum_{j=1}^3 N_{3j}$
		$\sum_{i=1}^3 N_{i1}$	$\sum_{i=1}^3 N_{i2}$	$\sum_{i=1}^3 N_{i3}$	N

- **Probabilité de détection (POD)** : La probabilité de détection exprime le pouvoir de détection d'une catégorie donnée de la saison. Si on s'intéresse à une catégorie sèche, la POD (sèche) est le nombre de mois secs correctement prévus par le modèle, rapporté au nombre total de mois secs observés (soit le tiers de la série). Elle varie de 0 (mauvaise) à 1 (meilleure) suivant l'équation ci-après :

$$POD(sèche) = \frac{N_{11}}{\sum_{j=1}^3 N_{1j}} \tag{10}$$

Pour une catégorie humide, la POD (humide) est le nombre de mois humides correctement prévues par le modèle, rapporté au nombre total de mois humides observées (soit le tiers de la série). Elle fluctue entre 0 (mauvaise) et 1 (meilleure) suivant l'équation ci-après :

$$POD(humide) = \frac{N_{33}}{\sum_{j=1}^3 N_{3j}} \tag{11}$$

- **Fausse Alert (FAR)** : La fausse alerte est le nombre prévu d'une catégorie donnée alors que c'est le contraire qui a été observé, rapporté au nombre total prévu de cette catégorie (Hamatan, 2002 ; Hamatan et al., 2004). En s'intéressant à une catégorie sèche, la FAR (sèche) est le nombre de mois prévus secs alors qu'ils ont été observés humides, divisé par le nombre total de mois secs prévus par le modèle. Elle oscille entre 0 (meilleure) et 1 (mauvaise) suivant l'équation ci-après :

$$FAR(sèche) = \frac{N_{31}}{\sum_{i=1}^3 N_{i1}} \tag{12}$$

En ce qui concerne la catégorie humide, la FAR (humide) est le nombre de mois prévus humides alors qu'ils ont été observés secs, divisé par le nombre total de mois humides prévus par le modèle. Elle va de 0 (meilleure) à 1 (mauvaise) suivant l'équation ci-dessous :

$$FAR(humide) = \frac{N_{13}}{\sum_{i=1}^3 N_{i3}} \tag{13}$$

- **Taux de coïncidence (C)** : Le taux de coïncidence est le pourcentage des catégories correctement prévues par rapport à la taille de l'échantillon (nombre total de mois) qui se détermine comme suit :

$$C = \frac{\sum_{i=j=1}^3 N_{ij}}{N} \tag{14}$$

Il exprime la performance prévisionnelle du modèle en comparant les prévisions aux observations (Hamatan, 2002 ; Hamatan et al, 2004).

**RÉSULTATS ET DISCUSSION**

**Performance des modèles au regard des scores déterministes**

Le tableau 2 illustre les résultats de prévision au pas de temps mensuel en phase de validation. Les performances des critères déterministes montrent que les valeurs du Nash oscillent entre 47 et 79% pour une moyenne de 65%, tandis que le coefficient de corrélation varie entre 0,75 et 0,89. Enfin, le critère du RMSE fluctue entre 0,22 et 0,35 pour une moyenne de 0,28. Par ailleurs, quel que soit le modèle (1, 2 et 3), le délai de prévision d'un mois présente les meilleures performances, suivi des délais de deux et trois mois. Au regard de l'ensemble des critères, on peut dire que le modèle 1 a été performant seulement au délai 1 mois alors que les modèles 2 et 3 ont été performants du délai d'un mois au délai de trois mois.

**Tableau 2** - Scores déterministes des modèles RNA de prévision des débits mensuels en phase de validation

Critères	Modèle 1 (P, Q)			Modèle 2 (P, T, Q)			Modèle 3 (P, ETP, Q)		
	Délai 1	Délai 2	Délai 3	Délai 1	Délai 2	Délai 3	Délai 1	Délai 2	Délai 3
Coefficient de corrélation	0,83	0,75	0,78	0,88	0,85	0,82	0,89	0,85	0,81
RMSE	0,29	0,34	0,35	0,23	0,26	0,28	0,22	0,26	0,31
Nash-Sutcliffe (%)	63,73	51,51	47,48	76,78	70,53	66,64	79,16	70,61	59,67

### Performance des modèles au regard des scores de contingence

Le tableau 3 présente les scores de contingence des modèles de prévision des débits mensuels. Le taux de coïncidence varie entre 61% et 77% avec une moyenne de 66,22%. Toutefois, le délai 1 affiche un meilleur taux de coïncidence suivi des délais 2 et 3. La probabilité de détection d'une période sèche fluctue entre 56 et 84% avec une moyenne de 69%. Quant à la probabilité de détection d'une période humide, elle va de 73 à 84% avec une moyenne de 79%. S'agissant de la probabilité d'effectuer une fausse alerte (FAR) de période sèche ou humide, elle varie entre 0 et 4%, donc moins de 5%. Ces résultats témoignent d'une grande performance des modèles neuronaux de prévision des débits mensuels de la Marahoué (Bandama).

**Tableau 3** - Scores de contingence des modèles RNA de prévision de débits mensuels en validation

Critères	Modèle 1 (P, Q)			Modèle 2 (P, T, Q)			Modèle 3 (P, ETP, Q)		
	Délai 1	Délai 2	Délai 3	Délai 1	Délai 2	Délai 3	Délai 1	Délai 2	Délai 3
C (%)	77	66	64	69	62	64	61	69	64
POD sèche (%)	84	76	66	72	63	69	56	73	59
POD humide (%)	80	73	78	81	80	73	83	79	84
FAR sèche (%)	1	0	4	1	1	4	4	1	2
FAR humide (%)	1	1	0	0	0	3	0	3	2

Les performances démontrées à partir des critères numériques sont confirmées par les représentations graphiques des hydrogrammes et nuages de points des débits observés et simulés par les modèles neuronaux (Figure 4).

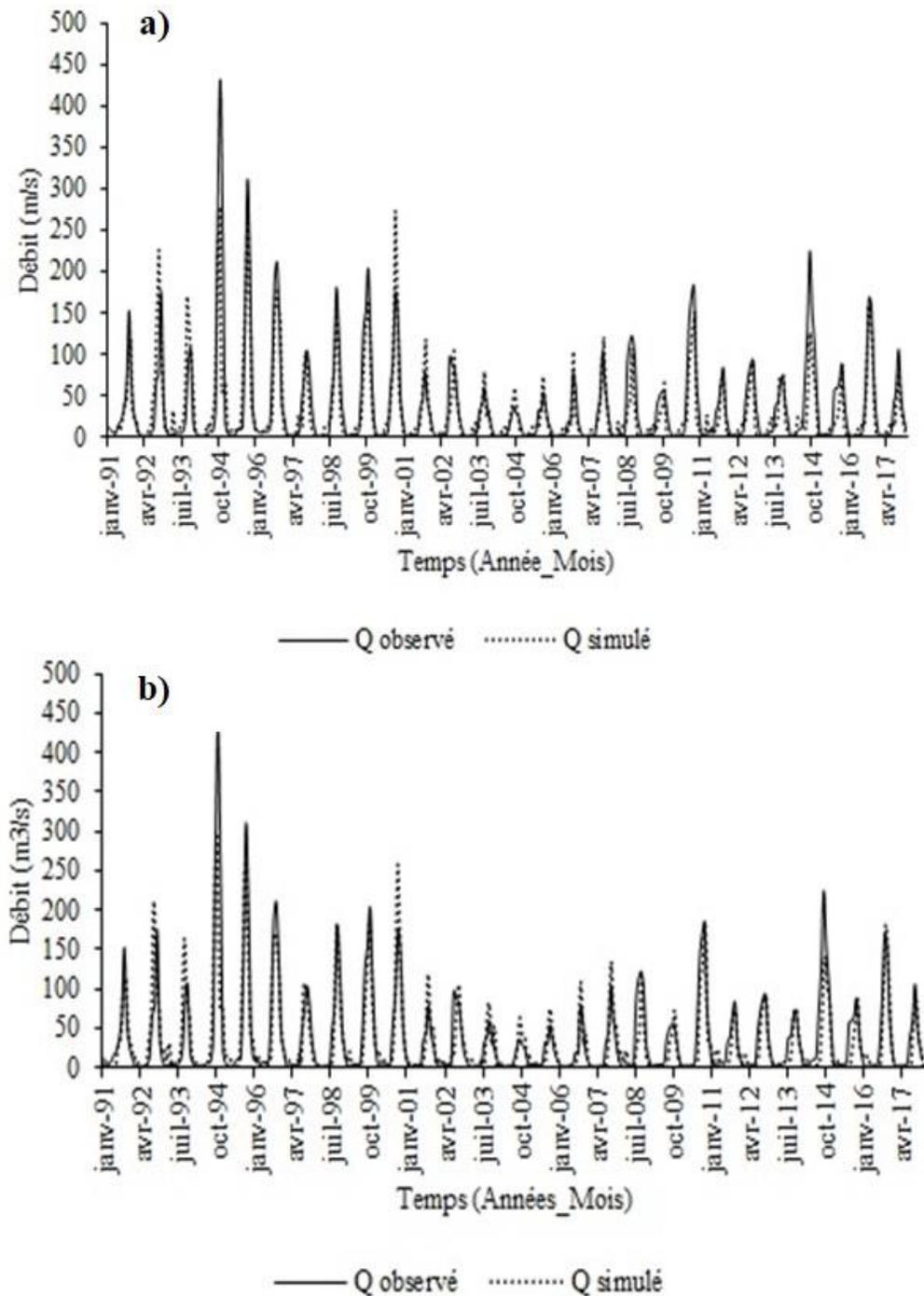


Figure 4 – Hydrogrammes de débits observés et simulés par les modèles 2 (a) et 3 (b) au délai d'un mois

## DISCUSSION

L'application des réseaux de neurones (RNA) en général et les Perceptrons Multicouches en particulier nous a permis de concevoir des modèles hydrologiques de prévision des débits de la Marahoué (Bandama). Ces modèles ont été définis sur la base de débits mensuels. Aussi, ils ont été répartis sur trois délais (1, 2 et 3 mois) à partir des variables d'entrée que sont la pluie, la température, l'évapotranspiration et le débit. La combinaison de ces différentes variables a permis de constituer trois modèles dont le modèle de base (modèle 1) qui est constitué de la pluie et du débit. Le modèle 2 est déduit du modèle 1 en ajoutant la température. Quant au modèle 3, il s'agit de l'ajout de l'évapotranspiration au modèle 1. L'intérêt de l'utilisation en parallèle de trois modèles, est de tester la performance et la robustesse des approches utilisées en fonction des variables retenues. Aussi, quatre approches ont été utilisées pour l'évaluation de des modèles développés.

Dans l'ensemble, les performances obtenues aux architectures qui prennent en compte la température ou l'ETP en plus de la pluviométrie et du débit, se trouvent être les meilleures. Les résultats des critères de performance montrent qu'une modélisation à l'aide des RNA n'est pas satisfaisante lorsque les variables d'entrées sont constituées uniquement de la pluie et du débit. L'ajout de la température ou de l'ETP apporte une contribution à l'amélioration des performances des modèles. L'application des réseaux de neurones (RNA) en général, et les Perceptrons Multicouches en particulier, a permis d'obtenir des performances satisfaisantes pour la prévision mensuelle des débits. Les différents critères utilisés (déterministes et contingence) convergent en général vers les mêmes résultats. Les modèles de prévision développés sur la base des réseaux de neurones sont adaptés à la prévision des débits mensuels du bassin versant de la Marahoué jusqu'au délai de trois mois. Aussi, il ressort que les résultats des modèles 2 et 3 sont relativement semblables et restent plus performants que le modèle 1.

Les représentations graphiques proposées permettent d'apprécier également la représentativité des valeurs simulées et celles observées. Les hydrogrammes présentés en phase de validation montrent que la dynamique des écoulements est bien représentée par les modèles RNA. Cependant, il existe un écart entre les hydrogrammes observés et les hydrogrammes simulés par les modèles au fur et à mesure que le délai de prévision augmente ainsi qu'au niveau des débits extrêmes (débits de hautes eaux et des débits de basses eaux). Toutefois, ce critère ne serait à lui seul, jugé de la performance des modèles développés. En effet, comme le mentionne Toukourou (2009), de bonnes valeurs peuvent être observées même si l'hydrogramme calculé est très éloigné de l'hydrogramme observé, en termes d'ajustement du pic.

Les résultats présentés restent dans leur ensemble acceptable comme précisés par certains auteurs. En effet pour certains auteurs tels que Toukourou [17], Kharroubi [36], Abda *et al.* [22], dans l'application hydrologique et selon le type de cours d'eau, le critère de Nash est acceptable entre 60% et 70% et excellent s'il est supérieur à 90%. De même, les résultats de la prévision des débits mensuels peuvent être également analysé au regard de l'étude menée par Koffi [27] sur le bassin versant du Bandama Blanc. En effet, dans ses travaux, les données des stations de Bada, Marabadiassa, Tortiya et de Bou ont été utilisées pour tester la capacité des Réseaux de neurones à prévoir dans un contexte perturbé avec, notamment la présence de plusieurs barrages agropastoraux. Pour atteindre cet objectif, deux Perceptrons Multicouches entraînés avec l'algorithme de la rétropropagation de l'erreur, ont été construits, l'un employé pour la simulation et l'autre en simulation et en prévision. Les données d'entrées des modèles sont constituées de la pluie, la température, l'ETP et le mois (réparties sous plusieurs architectures). Les résultats du critère de Nash présentent des valeurs comprises entre 71% et 74% en phase de calage et 77% et 79% en phase de validation. Enfin pour l'auteur, la pluie et l'évapotranspiration potentielle sont suffisantes comme entrées des Perceptrons Multicouches Dirigés pour faire la prévision des débits mensuels du Bandama Blanc. Cette tendance est observée également dans la présente étude, avec une valeur du Nash de 79,16% en phase de validation au modèle 3. Ainsi, les résultats obtenus renforcent la recommandation de l'auteur, selon laquelle, l'ajout des variables explicatives (température et évapotranspiration potentielle) a amélioré les performances des modèles conçus. Aussi, dans leur ensemble les modèles évalués à chaque délai, respectent les critères de PRESAO (programme de PREvision Saisonnière en Afrique de l'Ouest mis en place par le consortium ACMAD-AGRHYMET-ICRISAT-ABN). En effet, comme le souligne Hamatan *et al.* [35] dans leur étude sur la synthèse et l'évaluation des prévisions saisonnières en Afrique de l'Ouest, un modèle est validé par le PRESAO si son pourcentage de coïncidence « C » est supérieur à 30 %, sa probabilité de détection d'une année sèche est également supérieure à 30 % et si sa fausse alerte « FAR » est inférieure à 30 %. Dans ces travaux, les auteurs ont porté leur étude sur quatre (4) pays que sont, la Guinée, le Mali, le Tchad et le Bénin. Ainsi, il a été démontré que dans cette étude, les prévisions sont améliorées dans les pays tests, avec la prise en compte des anomalies de température de surface au niveau de l'Upwelling Equatorial Atlantique, en plus des données pluviométriques et hydrométriques. Ainsi, les modèles calés sur la période 1961-1990 et validés sur sept (7) années soit 1991-1997, présentent des valeurs intéressantes des critères d'évaluation avec un Hit Skill Score qui fluctue entre 45 et 52 %. Il convient alors de souligner, que sur la base du seuil de validation de prévision proposé par PRESAO, tous les modèles qui ont été exposés sont performants. Ce qui traduit une bonne performance des modèles neuronaux à prévoir les débits mensuels du bassin versant de la Marahoué.

## CONCLUSION

L'objectif de cette étude est de développer des modèles de prévision de débit du fleuve Marahoué à partir de l'intelligence artificielle. Pour ce faire les modèles ont suscité comme variables d'entrées aux instants « t » et « t+1 », la pluviométrie, l'ETP, la température et une variable de débit. Sur la base des variables d'entrées, trois architectures de modèles ont été définies. La performance des modèles à la suite des phases de calage et validation, a été réalisée sur la base des scores déterministes (R, RMSE et Nash-Sutcliffe) et des scores de contingences (POD, FAR, C) et des représentations graphiques. Ces modèles ont été développés suivant trois (3) délais, à savoir le délai 1 mois, 2 mois et 3 mois. En phase de validation, il est mis en évidence au niveau des critères déterministes, des performances moyennes de 0,83 (0,75-0,89) pour le coefficient de corrélation, 0,28 (0,22-0,35) pour l'erreur quadratique et 65% (47%-79%) pour le Nash-Sutcliffe. Pour ce qui est des scores de contingence, on retient que la probabilité de détection d'une période humide ou sèche varie entre 56 et 84% avec une moyenne de 74%. En outre, la probabilité d'annoncer une fausse alerte (FAR) de période humide ou sèche oscille entre 0 et 4%. En ce qui concerne les différents délais proposés, les résultats obtenus font ressortir que le délai 1 mois affiche les meilleures performances, suivi du délai 2 et 3 mois. Par ailleurs, l'analyse des résultats des modèles de prévision, montrent que les modèles 2 et 3 sont plus performants que le modèle 1. Au regard des résultats obtenus, il est proposé, en tenant compte des données disponibles d'opter pour les modèles 2 et 3 pour les débits mensuels. En effet, l'ajout de la température ou de l'ETP a rehaussé la performance du modèle de base (modèle 1) qui ne comprend que la pluie et le débit comme variables d'entrée. En définitive, cette étude a démontré que les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont de très bons modèles de prévision des débits d'écoulement pas de temps mensuel.

## Références

- [1] Turnbull M., Sterrett C. L., Hilleboe A. 2013. Vers la résilience : un guide pour la Réduction des Risques de Catastrophe et l'Adaptation au Changement Climatique. Catholic Relief Services – Conférence des Évêques Catholiques des États-Unis d'Amérique, 202 p.
- [2] Cima, Unisdr 2018. Centre International pour le Monitoring Environnemental (CIMA), The United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). Profil de Risque de Catastrophe en Côte d'Ivoire, 24p.
- [3] Agence Ivoirienne De Presse (AIP). Inondation en Côte d'Ivoire.
- [4] ASCE (2000). Artificial Neural Networks in Hydrology. I: Preliminary Concepts. *J. Hydrol. Engng*, 5, 115-123.
- [5] Scheuren J-M., Le Polain O., Below R., Guha-Sapir D., Ponserrer S. 2008. Annual Disaster Statistical Review: Numbers and Trends 2007. Centre for Research on the Epidemiology of disasters (CRED), Brussels.
- [6] Servat E., Paturel J. E., Kouame B., Travagli M., Ouedraogo M., Boyer J. F., Lubes-Niel H., Fri Tsch J. M., Masson J. M. Et Marieu B. 1998. Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. *International Association of Hydrological Sciences Publication*, 252, 323-337.
- [7] Brou L.A., Kouassi K.L., Konan K.S., Kouadio Z.A., Dongo T.F., Konan K.F., Kamagate B. 2017. Modélisation Pluie-Débit à l'aide des Réseaux de Neurones Artificiels Multicouches sur le Bassin Versant du Fleuve Cavally à la station d'Ity (Zouan-Hounien, Côte d'Ivoire). *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement*, 2 (5), 19-24.
- [8] Abrahart, R. J., Kneale, P. E., See, L. M. 2004. Neural Networks for Hydrological Modeling. Leiden: A. A. Balkema publishers.
- [9] Zhu, Y.M., Lu, X.X., Zhou, Y. 2007. Suspended sediment flux modeling with artificial neural network: An example of the Longchuanjiang River in the Upper Yangtze Catchment, China. *Geomorphology*, 84 (1), 111-125.
- [10] Kouassi A.M., Koffi Y.B., Kouamé K.F., Théophile Lasm L., Biemi J. (2013). Application d'un modèle conceptuel et d'un modèle de réseaux de neurones artificiels à la simulation des débits annuels dans le bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire). *Afrique SCIENCE*, 09(1), 64-76.
- [11] Koffi Y.B., Ayral P.A., Kouassi A.M., Johannet A., Biemi J. (2011). Modélisation des débits des rivières en région tropicale humide : application des réseaux de neurones et du modèle GR2M au Bandama blanc (Côte d'Ivoire). *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 17, 151 – 171
- [12] Tachi S.E., Ouerdachi L., Remaoun M., Derdous O., Boutaghane H. 2016. Forecasting suspended sediment load using regularized neural network: Case study of the Isser River (Algeria). *Journal of Water and Land Development*, 29, 75–81.
- [13] Hsu K.L., Gupta H.V. Et Sorooshian S., 1995. Artificial Neural-Network Modeling of the Rainfall-Runoff Process. *Wat. Resour. Res.*, 31 (10), 2517-2530.
- [14] Dibike B.Y., Solomatine D.P. 2001. River flow forecasting using Artificial Neuronal Networks. *Physics and Chemistry of the Earth*, 26 (1), 1-7.
- [15] Solomatine D.P., Dulal K.N. 2003. Model tree as an alternative to neural network in rainfall-runoff modelling. *Hydrological Sciences J*, 48 (3), 399-411.
- [16] Boulmaiz T. 2016. Contribution dans la modélisation de la relation pluie-débits. Thèse de Doctorat université Kasdi Merbah Ouargla, 144 p.

- [17] Toukourou M.S. 2009. Application de l'apprentissage artificiel à la prévision des crues éclair. Hydrologie. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 183p.
- [18] Dechemi N., Benkaci T., Issolah A. 2003. Modélisation des débits mensuels par les modèles conceptuels et les systèmes neuro-flous. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 16(4), 407–424. <https://doi.org/10.7202/705515ar>
- [19] Lek S., Dimopoulos L., Derraz M., El Ghachtoul Y. 1996. Modélisation de la relation pluie-débit à l'aide des réseaux de neurones artificiels. *Revue des sciences de l'eau*, 93, 319–331.
- [20] Benkaci A. T. 2006. Modélisation pluie-débit mensuelle et journalière par les modèles conceptuels et les systèmes neuro-flous (Application aux bassins Algériens). Thèse de doctorat de l'Institut National Agronomique d'Alger, 222p.
- [21] Koffi Y.B, Ahoussi K. E., Kouassi A. M., Biemi J. 2014. Ressources minières, pétrolières et gazières de la Côte d'Ivoire et problématique de la pollution des ressources en eau et des inondations. *Geo-Eco-Trop*, 38 (1), 119-136.
- [22] Abda Z., Chittih N., Zerouali B. 2015. Modélisation des débits extrêmes par les réseaux neuronaux artificiels et les systèmes à inférence neuro-floue (application aux bassins côtiers Algérois). International Conference on African Large River Basins Hydrology, Hammamet, Tunisia, 11p.
- [23] Artigue G., Johannet A., Borrell V., Pistre S., 2012. Flash flood forecasting in poorly gauged basins using neural networks: case study of the Gardon de Mialet basin (southern France). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 3307-3324.
- [24] Kouassi A. M., Kouakou K. E., Nassa R. A. K., Kouame K. F., Biemi J. 2018. Prévision saisonnière des débits de hautes eaux au sein des bassins fluviaux de l'Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi-Bandama, Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 14 (6), 160 – 174.
- [25] Kouassi A.M, Nassa R.A.K., Koffi Y.B., Kouame K.F., Biemi J. (2018a). Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire). *Revue des Sciences de l'Eau*, Vol 31 (2), 147-160.
- [26] El Badraoui M.H., Berdai M. (2011). Adaptation du système eau-énergie au changement climatique : Etude nationale – Maroc. Rapport final. Plan Bleu Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM, 97p.
- [27] Koffi Y. B. 2007. Etude du calage, de la validation et des performances des réseaux de neurones formels à partir des données hydro-climatiques du bassin versant du Bandama blanc (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Côte d'Ivoire, 210p.
- [28] Coulibaly P., Ancil F., Bobee B. 1999. Prévision hydrologique par réseaux de neurones : Etat de l'art. *Can. J. Civil Engng*, 26 (3), 293-304.
- [29] Gaspar D. L. 2010. Application de l'apprentissage artificiel a la modélisation systémique de la chaine hydrométéorologique pour la prévision des crues éclair. Travail final d'études. Ingénierie Technique d'Œuvres Publiques, École des Mines d'Alès, 100p.
- [30] Artigue G. 2012. Prévision des Crues Éclair par Réseaux de Neurones : Généralisation aux Bassins non Jaugés. Hydrologie. Thèse de Doctorat, Université Montpellier 2 Sciences et Techniques du Languedoc, 194 p.
- [31] Yonaba H. 2009. Modélisation hydrologique hybride réseau de neurones - modèle conceptuel. Thèse de Doctorat de l'Université Laval, Québec, 182p.
- [32] Kouassi A.M, Tozan Bi, Kouame K.F, Kouame K.A. Okaingni J-C, Biemi J. 2012. Application de la méthode des simulations croisées à l'analyse de tendances dans la relation pluie-débit à partir du modèle Gr2m : Cas du bassin versant du N'Zi-Bandama (Côte d'Ivoire). *Comptes rendus géoscience*, 344 (5), 288–296.
- [33] Kouassi A.M., Nassa R.A.K., N'guessan B.T.M., Kouame K.F., Biemi J. 2018b. Caractérisation des débits d'étiage dans un contexte de changements climatiques: cas du bassin versant du N'Zi (Côte d'Ivoire). *Agronomie Africaine*, 30 (3), 215-223.
- [34] Hamatan M. 2002. Synthèse et Evaluation des Prévisions Saisonnières en Afrique de l'Ouest ». DEA Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental de l'Ecole Doctorale : Sciences de la Terre et de l'Eau de l'Université Montpellier II, France 116 p.
- [35] Hamatan M., Mahe G., Servat E., Paturel J. E., Amani A., 2004. Synthèse et évaluation des prévisions saisonnières en Afrique de l'Ouest. *Sécheresse*, 15 (3), 279-286.
- [36] Kharroubi O. 2013. Prévision des crues par modèle de réseau de neurones artificiels : application au bassin versant de l'Eure. Thèse de Doctorat de l'Université de Lille 1, France, 211p..

## L'architecture Hospitalière à l'épreuve du COVID-19 :

### Cas de Trois Hôpitaux Bruxellois.

Meriam Gaaloul<sup>1</sup>

<sup>1</sup>: Faculté d'Architecture La Cambre Horta - ULB (Université Libre de Bruxelles)

#### Résumé

*La pandémie de COVID-19 a mis en évidence les limites du système sanitaire dans le monde entier poussant le cadre médical et les architectes à s'interroger sur la conception de l'espace hospitalier et à réfléchir à la manière dont les hôpitaux (Joseph Bracops, Saint-Pierre et Erasme) peuvent mieux se préparer à de telles crises sanitaires. Cette recherche autour de trois cas d'hôpitaux bruxellois vise à étudier les nouveaux besoins exprimés par le cadre médical et les architectes. Elle a également pour but l'identification des adaptations faites pendant la crise et les caractéristiques architecturales qui ont permis ou rendu difficiles les transformations nécessaires. Le recueil des données par des observations, entretiens et recherche documentaire a permis d'identifier un schéma d'adaptations lié à plusieurs facteurs dont les caractéristiques de l'architecture hospitalière en termes de taille, de flexibilité et d'adaptabilité. Les études de cas pour les trois hôpitaux sont basées sur ; Problèmes d'espace hospitalier existant et limites des adaptations, Besoins émergents et Adaptations, adaptabilité et flexibilité de l'espace hospitalier (Modifiabilité, Polyvalence, Extensibilité et Convertibilité). Plusieurs leçons peuvent être tirées des résultats obtenus permettant de faire des recommandations liées à la recherche et à la conception architecturales.*

**Mots clés :** Architecture hospitalière, adaptations, besoins, flexibilité, COVID-19

### Hospital Architecture Under COVID-19: Three Cases of Brussels Hospitals.

#### Abstract

*The COVID-19 pandemic has exposed the limits of the healthcare system worldwide, prompting medical professionals and architects to question the design of hospital space and to think about how hospitals can better prepare for such health crises. This study of three cases of Brussels hospitals (Joseph Bracops, Saint-Pierre and Erasme) aims to investigate the new needs expressed by the medical staff and architects. It also aims to identify the adaptations made during the crisis and the architectural characteristics that have allowed or made difficult the necessary transformations. The collection of data through observations, interviews and documentary research made it possible to identify a pattern of adaptations linked to several factors, including the characteristics of hospital architecture in terms of size, flexibility, and adaptability. Case Studies for the three hospitals is based on; Problems of existing hospital space and limits of adaptations, Emerging needs and Adaptations, adaptability and flexibility of the hospital space (Modifiability, Versatility, Extensibility and Convertibility). Several lessons can be drawn from the results obtained to make recommendations related to architectural research and design.*

**Key Words:** Hospital architecture, adaptations, needs, flexibility, COVID-19

---

<sup>1</sup> Corresponding author: [meriam.gaaloul@ulb.ac.be](mailto:meriam.gaaloul@ulb.ac.be)

## INTRODUCTION

L'un des enjeux les plus importants liés à l'effet de la pandémie de Coronavirus sur l'architecture en général et la conception de l'espace sanitaire en particulier, est la façon dont elle modifie la conception, la construction et la rénovation de cet espace afin de s'adapter aux nouvelles réalités (Megahed & Ghoneim, 2020). Ces réalités se sont produites à la suite de la pandémie de COVID-19, décrite comme crise sanitaire majeure (Ariadne Labs + Mass Design group, 2020 ; OMS, 2020) provoquée par une maladie infectieuse émergente signalée fin 2019 en Chine continentale. Cette maladie infectieuse a été décrétée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) le 11 mars 2020 comme pandémie dont l'agent pathogène est le Coronavirus 2 du syndrome respiratoire aigu sévère (SARS-CoV-2). Il est responsable de la maladie infectieuse à Coronavirus (COVID-19), une infection respiratoire.

L'émergence de cette pandémie du COVID-19 en décembre 2019 (OMS, 2020) a poussé toutes les autorités ainsi que les gestionnaires et le corps médical aux hôpitaux à faire face à cette crise sanitaire d'une ampleur sans précédent. Afin de combattre la propagation de la pandémie et de présenter les soins nécessaires aux patients, des solutions liées à l'espace hospitalier ont été adoptées en urgence dans différents pays. La mutation de l'hôpital est devenue une nécessité basée entre autres sur l'intervention de la recherche architecturale. En effet, les infrastructures de soins de santé se sont retrouvées débordées par l'afflux de patients positifs ou susceptibles d'avoir le COVID-19 et les hôpitaux ont atteint leurs capacités maximums. Le gouvernement chinois s'est trouvé dans le besoin de construire deux hôpitaux avec des "bâtiments préfabriqués" en un temps record afin de pouvoir accueillir le maximum de patients COVID pendant la première vague de la pandémie (Franceinfo, 2020). En Belgique, la pandémie a commencé lorsque neuf belges ont été rapatriés, le 1er février 2020, de Hubei (Chine), par un des vols d'évacuation arrivant à la base aérienne de Melsbroek à Bruxelles. Ces dix personnes ont subi un test de dépistage du SARS-CoV-2 : les personnes positives ont été placées en quarantaine à l'hôpital Saint-Pierre de Bruxelles, tandis que les personnes négatives ont été placées en quarantaine à l'hôpital militaire Reine Astrid à Neder-Over-Heembeek pendant 14 jours. Le premier cas de COVID-19 a été recensé le 4 février 2020 en Belgique (Nouvelobs, 2020). Ce n'est que le 28 décembre 2020 que la campagne de vaccination contre le COVID-19 a débuté (COVID-19, 2022).

L'épidémie s'est installée rapidement en débutant par les régions de la Wallonie, Flandre et Bruxelles. Les hospitalisations et les passages en réanimation se sont intensifiés et ont entraîné très rapidement une saturation du système hospitalier (Fallon et al., 2020). Le 11 mars 2020, le Service Public Fédéral Santé publique, Sécurité de la chaîne alimentaire et Environnement (SPF Santé publique) annonce le premier décès dû à une infection au coronavirus SARS-CoV-2. Le 17 mars 2020, une mesure de confinement national est instaurée (RTBF, 2020). L'état d'urgence sanitaire est décrété le 23 mars 2020 (Bouhon et al., 2020). Pour une capacité de réponse optimale dans le contexte d'une telle pandémie, le guide technique de la Région européenne de l'OMS intitulé « Strengthening the Health System Response to COVID-19 » définit les quatre S comme étant l'espace, les fournitures, le personnel et les systèmes de coordination (World Health Organization. Regional Office for Europe, 2020).

Le 1er avril 2020, les hôpitaux bruxellois, Baron Lambert, Etterbeek-Ixelles, Molière-Longchamp et Joseph Bracops, le Centre Hospitalier Universitaire (CHU) Brugmann, le CHU Saint-Pierre, l'hôpital pour enfants (HUDERF), l'Institut Jules Bordet et l'hôpital Erasme protestent devant une situation qu'ils jugent désormais intenable et dramatique. Leurs hôpitaux seraient « en état de pénurie massive de tout le matériel de protection et des médicaments indispensables », ainsi que de masques, mais aussi notamment de seringues, et ils affirment être au bord de la saturation (Delvaux, 2020).

La crise sanitaire a poussé les autorités dans un bon nombre de pays touchés par la pandémie à adopter des solutions architecturales rapides telles que des structures temporaires, propositions de réaménagement de bâtiments comme les églises et les aéroports, ainsi que la transformation de conteneurs (Harrouk, 2020). Sur le plan architectural, plusieurs bureaux dans le monde ont proposé des alternatives pour la création de nouveaux espaces hospitaliers. Plusieurs intervenants impliqués dans le domaine sanitaire de près ou de loin ont collaboré ou tâtonné des solutions uniques et rapides afin de mieux gérer la pandémie (Booker, 2020).

Au cours des deux dernières années, nous avons enregistré un intérêt croissant pour le rôle de l'architecture dans la gestion de cette crise. Il est certain que les architectes ont les compétences nécessaires pour un encadrement adéquat des adaptations pour la mutation de l'hôpital sous la crise du COVID-19 (Mortice, 2020). Les architectes ont toujours eu une capacité à concevoir des projets d'adaptation ou de rénovation en se basant sur une approche multidimensionnelle. Ces professionnels sont considérés comme agents clés ayant une vraie « responsabilité

sociale » dans la création des espaces prenant en compte les besoins des patients et des soignants (The American Institute of Architects, 2020b). Pendant cette crise, le corps médical et les concepteurs ont eu une vraie opportunité pour collaborer afin de créer des solutions de conception innovantes pouvant protéger la santé des êtres humains. D'après cet institut américain, une collaboration continue des architectes avec le corps médical est nécessaire afin de mettre en œuvre les développements théoriques basés sur ce genre de collaborations et d'avoir une conception plus efficace de l'espace hospitalier.

À la suite de cette crise sanitaire sans précédent, il est important de rappeler que les mesures entreprises pour la gestion de la pandémie étaient généralement des réponses d'urgence, ce qui signifie qu'il n'y avait pas de temps ni pour planifier ni pour évaluer la résilience réelle des structures hospitalières et de trouver des solutions alternatives plus appropriées pour leurs contextes spécifiques (Setola et al., 2021). Certaines questions s'imposent concernant le point auquel les hôpitaux ont été préparés à réagir rapidement et avec flexibilité aux besoins accrus en matière d'accueil, organisation des malades et la gestion des cas les plus graves aux soins intensifs... D'une perspective architecturale, la crise actuelle peut être transformée en opportunité de recherche et d'innovation (Setola et al., 2021). La consultation de la littérature publiée au début de la pandémie permet de constater que malgré la documentation liée aux solutions pour la gestion de la crise, cette période a été généralement marquée par un manque d'informations au sujet du COVID-19 (The American Institute of Architects, 2020a). Il est important de noter que la flexibilité et l'adaptabilité de l'espace hospitalier ont été parmi les priorités des hôpitaux dès le début de cette crise (Setola et al., 2021).

Dans des pays tels que la France « évoluer leurs infrastructures pour aménager des circuits COVID aux Urgences » (Ramsay santé pôle IDF Ouest, 2020, pp. 1) était une des priorités majeures. Néanmoins, ces efforts, liés à la gestion et à l'adaptation des hôpitaux pour faire face à cette nouvelle réalité sont restés parfois insuffisants ou improvisés (Booker, 2020 ; Laperrière, 2020). En effet, dès le début de cette crise sanitaire, les hôpitaux devaient changer physiquement pour répondre aux problèmes auxquels le monde était confronté. L'un des grands points à retenir est que le système médical y compris son espace hospitalier, n'est pas conçu pour gérer une pandémie d'une telle ampleur. Il est donc impératif de tirer des leçons de la gestion de la crise actuelle et de transformer ces mesures en actions (Van de Voorde et al., 2020) à appliquer au long terme afin de mieux se préparer pour les futures urgences sanitaires de cette nature. Néanmoins, la relation entre l'urbanisme et la santé publique (D'Alessandro, et al., 2017) date d'il y a longtemps. Une lecture de la littérature large autour de la conception de l'espace hospitalier a démontré que cet espace n'a pas cessé d'évoluer au fil des années (D'Alessandro et al., 2017 ; Grandvoinet, 2010 ; Wagenaar et al., 2018).

D'après un bon nombre de chercheurs en architecture (e.g., Ganske, 2012 ; The American Institute of Architects, 2020b), pour la conception d'un espace hospitalier, il est important de considérer un certain nombre de caractéristiques telles que l'efficacité opérationnelle, la connectivité des différents services, les modèles de flux de travail, la sécurité des patients ainsi que la planification des catastrophes et la préparation à une pandémie notamment les espaces de quarantaine. Néanmoins, une lecture critique des publications disponibles révèle que l'intérêt porté aux épidémies, d'une perspective architecturale, n'a probablement pas pu anticiper des solutions à la crise sanitaire actuelle du COVID-19. Dans la littérature émergente post-COVID (Ashley, 2020 ; Pisano, 2020), il est clair que cette pandémie a initié un vrai débat concernant les problèmes rencontrés dans le milieu hospitalier et plusieurs questions se sont imposées par rapport à l'ampleur, la nature de la maladie (contagion rapide, taux de mortalité élevé) et les nouveaux besoins qui sont apparus.

Une prise de conscience du rôle de l'architecture dans la gestion de la crise a eu lieu. Certaines des conditions de la prise en charge des patients COVID-19 ont souvent nécessité une adaptation rapide de l'infrastructure existante, d'où l'intervention d'un architecte de la médecine sans nuire au travail en cours du cadre médical est nécessaire.

Hercules et al. (2020) soutiennent que l'environnement bâti est une partie essentielle des solutions à la pandémie et à la préparation aux situations d'urgence.

Un état de l'art du rôle de l'architecte et de l'architecture dans la crise du COVID-19 permet de différencier deux types de littératures émergentes : une littérature non-scientifique et secondaire autour des interventions d'urgence en réponse aux besoins découlant de la pandémie tels que des articles de revues d'architecture et de presse. Les auteurs identifient une partie des problèmes posés par le COVID-19 et proposent des alternatives de conception d'espaces hospitaliers (Carballo et al., 2020 ; Harrouk, 2020). Ces propositions sont parfois le résultat d'une étude de cas effectuée pendant la crise sanitaire. Tel est le cas pour l'étude de Ariadne Labs + Mass Design Group (2020) dans un hôpital à New-York et qui a pour but de repenser les espaces sanitaires afin de protéger le corps médical.

La deuxième est une littérature post-COVID de chercheurs en architecture abordant spécifiquement les problèmes de l'espace sanitaire parmi d'autres constructions. Ces publications posent un certain nombre de questions quant à la façon par laquelle ces espaces pourraient optimiser les conditions de travail du cadre médical (Hercules et al., 2020 ; Megahed & Ghoneim, 2020). Ces lectures permettent de constater que l'état des lieux de l'espace hospitalier ne répond pas suffisamment aux attentes des usagers de ce dernier. Des études dans ce milieu permettront de cerner les faiblesses actuelles et les besoins spécifiques pour une prise en charge optimale de cette crise sanitaire. Une intervention architecturale basée sur des données et méthodes triangulées pourra favoriser une meilleure préparation aux pandémies futures.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

Pour répondre aux questions de recherche mentionnées précédemment et afin de mieux comprendre la nature des adaptations faites dans le milieu hospitalier pendant cette crise sanitaire, une méthodologie basée sur une étude de trois cas, qui seront décrits en détail par la suite, sera adoptée. Ces trois analyses de cas ont inclus des visites aux trois sites d'hôpitaux, des entretiens semi-directifs et non-directif avec un échantillon d'usagers professionnels de ces espaces sanitaires, en plus d'autres parties prenantes impliquées dans la gestion de l'espace sous cette crise. Il est également important de préciser que des données complémentaires liées à ces trois cas ont été recueillies afin de mieux interpréter les résultats de l'analyse de ces cas. Ces données comprennent des plans des unités de soins intensifs et des urgences, des photographies prises lors des visites ainsi que des documents liés à la gestion de la crise. Ces documents offrent une perspective contextuelle supplémentaire.

Le choix de chacun de ces trois cas, sera justifié et chacun de ces trois contextes décrits. Chaque étude de cas, représente un contexte différent vu au niveau de l'échelle, de l'implantation, du flux des patients et de la manière de gérer la crise. La crise du COVID a engendré des nouvelles réalités tout en laissant la perspective architecturale et son rôle dans le combat contre cette pandémie relativement inexplorés. De ce fait, ce travail de recherche vise à analyser trois études (figure 1) de cas afin de mieux comprendre la réponse des usagers de l'espace sanitaire. La sélection de ces cas s'est basée essentiellement sur trois échelles d'hôpitaux différents situés en région de Bruxelles-Capitale en Belgique.

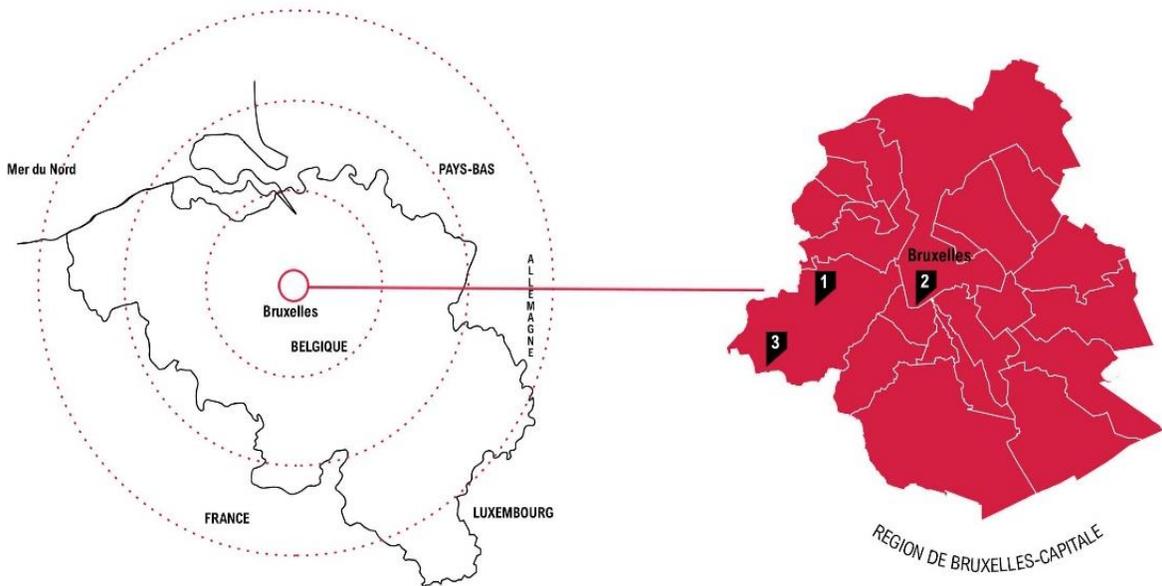


Figure 1- Localisation des trois cas étudiés

**Cas 1 : L'hôpital Joseph Bracops :** Implanté à Anderlecht à proximité du stade et du parc Astrid, il fait partie des quatre sites qui composent le réseau Inter hospitalière Régionale des Infrastructures de Soins (IRIS) Sud qui est un réseau public d'hôpitaux situés au sud de la région de Bruxelles-Capitale (Ixelles, Forest, Anderlecht et Etterbeek). Il comprend 550 lits. Il est décrit comme étant un hôpital de proximité qui accueille les patients de la même commune. L'établissement comprend un service d'urgences et un service de soins intensifs (<https://www.his-izz.be/>).

**Cas 2 : L'hôpital Saint-Pierre :** Anciennement une léproserie, l'hôpital Saint-Pierre est transformé en hôpital en 1784 (Genon, 2007). Il est situé dans le quartier des Marolles en plein centre de Bruxelles dans un tissu urbain dense, sur un site de trois hectares. L'hôpital fait partie des cinq hôpitaux publics de la région de Bruxelles-Capitale. Il s'agit d'un CHU de proximité qui a une capacité de 582 lits comprenant deux sites : le site Porte de Hal et le site César de Paape (<https://www.stpierre-bru.be/>). Il sera intéressant d'analyser le site Porte de Hal puisque ce dernier détient « le service d'urgence le plus actif du réseau » : le service de réanimation, le service des urgences et le Service Mobile d'Urgences (SMUR). L'hôpital comporte aussi une unité maladies infectieuses générales et tropicales qui est reconnue au niveau national (<https://www.iris-hopitaux.be/fr>). Il présente une architecture verticale qui tranche avec « l'approche pavillonnaire horizontale de l'hôpital Brugmann » (Allegaert, 2004, p.128).

**Cas 3 : L'hôpital Erasme :** Il s'agit de l'hôpital académique de l'Université Libre de Bruxelles (ULB), qui contrairement aux deux premiers cas est privé. Il a commencé ses activités en 1977 et a une capacité de 1048 lits. Son implantation sur le campus hospitalier et universitaire d'Erasme le distingue des deux cas d'étude précédents. Le campus se compose de la faculté de Médecine, la faculté des sciences de la Motricité et l'École de Santé Publique. L'hôpital comprend huit bâtiments dont quatre avec un noyau central qui les lie. Il présente une surface bâtie de 110000m<sup>2</sup> (<https://www.erasme.ulb.ac.be/fr>).

### Collecte des données

La méthode qualitative permettra une analyse approfondie de chacun des cas choisis. L'avantage de cette approche adoptée est qu'elle permet d'atteindre une « connaissance émique et éthique de la réalité étudiée » (Sawadogo, 2020, chapitre 27). Elle rend possible l'exploration des expériences personnelles des acteurs dans un contexte spécifique (Sawadogo, 2020). Cette démarche fait partie de l'objectif de mieux documenter et comprendre chacun des cas en tenant compte de la complexité de chaque situation.

Après avoir défini l'objectif de ce travail, deux types d'entretiens individuels ont été élaborés sur la base d'un cadre théorique lié à la littérature des adaptations dans l'espace hospitalier avant et après la crise du COVID. Le premier type est un entretien semi-directif qui est le plus couramment utilisé sur le terrain (Blanchet et Gotman, 2007). Il comporte trois étapes : la préparation de l'entretien, la conduite de l'entretien et sa transcription (Habchi, 2011). Et le deuxième est un entretien non-directif qui est libre et basé sur une première question posée afin de guider l'intervention du répondant (Sawadogo, 2020 ; Blanchet et Gotman, 2007).

Le choix du premier type d'entretien a permis le recueil des données avec une approche participative. D'une part, ça a permis de centrer le discours des répondants autour des différents thèmes définis au préalable en lien avec les questions de recherche abordées. En revanche, la deuxième démarche peut être justifiée par le besoin de s'adresser à l'architecte via cet entretien non-directif en tant que représentant du domaine de l'architecture en toute flexibilité (Magioglou, 2008).

Une fois ces instruments testés au préalable avec un intervenant dans le domaine médical, j'ai contacté les participants afin de leur expliquer le but et la démarche de cette étude et de prendre rendez-vous avec eux pour les entretiens. Le choix des participants s'est fait par rapport aux différents professionnels impliqués directement ou indirectement dans la gestion et l'utilisation de l'espace hospitalier : médecins, infirmiers, architectes, le service infrastructure de l'hôpital etc... Les entretiens ont été faits avec 12 intervenants sur une période de quatre mois selon la disponibilité de chaque participant avec deux à cinq personnes par cas d'étude du service des urgences ou en hospitalisation et en soins critiques (réanimation ou soins intensifs). Les entretiens ont eu lieu dans les hôpitaux où travaillaient les membres du cadre médical en question ou via appel téléphonique à distance. La durée de chaque entretien est comprise entre une vingtaine de minutes et une heure. Les entretiens recueillis ont été enregistrés, puis transcrits en détail en annexes afin de permettre leur codage et analyse.

La collecte des données a été basée sur une triangulation des sources des données (Carter et al., 2014) et des méthodes utilisées. Ceci permettra d'étudier chacune des questions de recherche abordées de plusieurs angles tout en utilisant plusieurs méthodes de recueil des données.

**Entretiens :** Chaque interview peut être considéré comme un récit de l'expérience de chaque participant et de sa perception présentant une structure conforme à savoir une première partie dédiée aux problèmes rencontrés pendant la crise, puis une deuxième partie liée aux besoins générés, une troisième partie consacrée aux adaptations faites dans l'hôpital et une dernière partie pour les leçons tirées de cette pandémie.

Comme expliqué précédemment, afin d'analyser les trois cas en question, les entretiens ont servi à compléter les données recueillies à travers les observations et l'analyse documentaire.

Le guide d'entretien semi directif, m'a servi à organiser chaque conversation avec le cadre médical dans chaque hôpital. Le guide pour les entretiens semi directifs a été imprimé et utilisé durant les visites des trois hôpitaux étudiés. L'un des buts d'une méthode semi directive était de réaliser les entretiens à peu près de la même tout en uniformisant les thèmes des réponses afin réduire toute source de biais. Les conversations ont été entre huit et 16 questions et autour des aspects suivants :

- Les problèmes rencontrés surtout en termes d'espace ?
- Les besoins imposés par la crise
- Les changements appliqués (pourquoi, comment, par qui, quand et pour combien de temps) et les contraintes d'adaptabilité et efficacité des solutions adoptés.
- Leur travail (accueil, flux, tri, sécurité du personnel...)

Pour le premier cas de l'hôpital Joseph Bracops, deux entretiens ont été réalisés. Un premier, aux USI avec Isabelle Heulers qui est infirmière chef et le deuxième aux urgences, avec Axel Vincent Van Velthem qui est infirmier.

Le deuxième cas du CHU Saint-Pierre comprend cinq entretiens. Le premier est avec Dr. Alain Roman, médecin de chef de clinique aux USI. Le deuxième est avec Dr. Marc Decroly, médecin généraliste urgentiste et qui travaille avec le SMUR. Le troisième est avec le directeur des infrastructures et des opérations de l'hôpital Saint-Pierre, Franco Carrieri. Les deux derniers entretiens sont avec deux personnes qui ont participé dans la mise en œuvre des adaptations au niveau des urgences, François Vande Perre qui est architecte et Gilles Decroly qui est un ingénieur biomédical.

Le troisième cas de l'hôpital Erasme comprend quatre entretiens. Un premier avec le médecin chef de service des soins intensifs, Dr. Fabio Silvio Taccone, un deuxième avec Axel Herchuelz, infirmier en hospitalisation, un troisième au service des urgences avec Jonayde Boucker qui est infirmier chef adjoint et le dernier avec Frédéric Trenchant, architecte responsable des chantiers au département ingénierie hospitalière de l'hôpital Erasme. Ces entretiens permettront l'identification des problèmes rencontrés pendant la pandémie et les adaptations de l'espace sanitaire.

Toutefois, un dernier entretien non-directif autour des conséquences de la crise sur la conception des hôpitaux a été nécessaire pour compléter le travail et valider les propos du personnel de santé. Ce dernier est réalisé avec Sylvain Beslier, de l'Atelier d'Architecture et d'Urbanisme (AAU) qui est un bureau spécialisé dans le secteur médico-social.

**Observations :** L'observation a été effectuée et documentée au moyen de schémas architecturaux, notes et photographies. Les entretiens sur place ont été accompagnés de ces observations durant les visites aux sites des hôpitaux. Un relevé photographique des espaces et des adaptations, si celles-ci étaient encore présentes, a été établi. Mener une séance d'observation en présence des intervenants médicaux, m'a aidé à déterminer la nature de l'espace médical dans chaque cas et lier ces observations aux discours des répondants afin de construire une meilleure compréhension des adaptations, besoins et problèmes. Des notes d'observation guidées par les remarques du cadre médical ont été produites durant et immédiatement après la visite. Des notes d'observations ont également été prises pendant ces visites sur terrain. Les documents recueillis lors de la visite sur terrain seront utilisés pour illustrer la situation des hôpitaux étudiés avant et après COVID.

Tableau 1 - Description des entretiens

Etude de cas	Répondant	Entretien	Type	Durée totale
1. L'hôpital Joseph Bracops	Infirmière chef aux soins intensifs à l'hôpital Joseph Bracops	Sur place avec visite guidée	Individuel semi-directif	32 minutes
	Infirmier aux urgences à l'hôpital Joseph Bracops	Sur place avec visite guidée	Individuel semi-directif	20 minutes
2. L'hôpital Saint-Pierre	Médecin chef de clinique aux soins intensifs à l'hôpital Saint-Pierre	Sur place avec visite guidée	Individuel semi-directif	1h 3 minutes
	Médecin généraliste urgentiste à l'hôpital Saint-Pierre	Par téléphone	Individuel semi-directif	30 minutes
	Directeur des infrastructures et des opérations à l'hôpital Saint-Pierre	Sur place	Individuel semi-directif	45 minutes
	Architecte indépendant	Par téléphone	Individuel semi-directif	20 minutes
	Ingénieur biomédical	Sur place	Individuel semi-directif	40 minutes
3. L'hôpital Erasme	Médecin chef de service des soins intensifs à l'hôpital Erasme	Sur place avec visite guidée	Individuel semi-directif	46 minutes
	Infirmier en hospitalisation à l'hôpital Erasme	Par téléphone	Individuel semi-directif	20 minutes
	Infirmier chef adjoint aux urgences à l'hôpital Erasme et médecin urgentiste	Par téléphone	En groupe semi-directif	41 minutes
	Architecte responsable des chantiers à l'hôpital Erasme	Par téléphone	Individuel semi-directif	41 minutes
	Architecte partenaire chez AAU	Sur place	Individuel non-directif	1h 7 minutes

**Recherche documentaire :** Rappelons que notre objectif de recherche est d'examiner les adaptations dans chaque hôpital durant les différentes vagues de la pandémie du COVID-19 notamment dans deux services de premier rang dans la gestion de cette crise. Dans un premier temps, nous avons recueilli les documents décrivant la structure des hôpitaux en question. L'obtention de la plupart de ces plans a été faite à travers les personnes contactées pour les entretiens. Il a été donc possible de réaliser un document étude des modes de travail, de circulation, et du flux des patients parmi d'autres éléments clefs pour comprendre les aspects d'adaptabilité des espaces étudiés et comparer l'état initial de chaque structure aux transformations souhaitées et/ ou réalisées dans chaque cas...

## RESULTATS ET DISCUSSION

**Analyse et traitement des données :** Les notes prises pendant la visite ont servi à mieux interpréter les propos de chaque intervenant dans chacune des études de cas. L'analyse thématique de ces deux catégories d'entretiens a commencé par leur lecture. Le premier but de cette lecture était d'identifier les thèmes relatifs aux questions de recherche de cette étude : les types d'adaptations faites pendant le COVID, les besoins, les contraintes liées à ces adaptations, et les limites de l'espace hospitalier existant. Cette étape a permis une « micro-analyse » (Lejeune, 2019, p. 52) ou analyse fine (Quintin, s. d.) grâce à la transcription intégrale des entretiens. Pour l'analyse des données, j'ai défini les « catégories thématiques et formelles pertinentes » (Schiltz, 2006, p269) afin de pouvoir coder le discours des participants à cette étude, les photos prises pendant les visites sur terrain ainsi que les plans numérisés et les documents recueillis (Schiltz, 2006). Ces catégories correspondent aux éléments des typologies décrites dans le cadre théorique de cette étude tel que l'analyse manuelle basée sur le codage, Question initiale de l'entretien et les plans recueillis des trois hôpitaux Analyse des plans (tableau 2).

Tableau 2 - Description des Question de recherche, Données recueillies et Méthode d'analyse

Question de recherche	Données recueillies	Méthode d'analyse
1. Les types d'adaptations de l'espace hospitalier faites pendant le COVID telles que décrites par le staff médical de ces hôpitaux bruxellois	Entretiens semi-directifs	Analyse thématique
	Relevé photographique	
	Plans numérisés	
	Documents recueillis (vidéo...)	
2. Les besoins exprimés par ces mêmes usagers et perçus et/ ou identifiés par les architectes	Entretiens semi-directifs	Analyse thématique
	Entretien non-directif	
3. Les difficultés et les contraintes liées à ces adaptations (adaptabilité)	Entretiens semi-directifs	
	Entretien non-directif	

Il a été également nécessaire de cartographier l'utilisation du personnel de santé de l'espace du service des urgences et soins intensifs après les visites afin d'analyser et mieux représenter les adaptations faites dans chacun des cas. En plus des photos prises lors des visites des différents services, les plans fournis par le corps médical et le personnel ont aidé à la compréhension des entretiens. L'interprétation des adaptations et des problèmes rencontrés pendant la crise sanitaire a été plus facile grâce à la visualisation de ces espaces où les changements ont été établis. La réalisation d'une série de schémas s'est également avérée nécessaire pour représenter ces adaptations, les zones dites propres et non propres et les différents flux au sein de l'hôpital (tableau 3).

Tableau 3 - Description des documents recueillis et réalisés

Etude de cas	Documents consultés et analysés	Documents réalisés
1. L'hôpital Joseph Bracops	- Plans numérisés des USI, des urgences et du site	- Relevé photographique pendant la visite des USI - Relevé photographique pendant la visite des urgences - Schémas - Plans des USI avant et pendant le COVID Plans des urgences avant et pendant le COVID
2. L'hôpital Saint-Pierre	- Plans recueillis du service infrastructure - Documents recueillis des adaptations effectuées (Decroly, 2020) - Photos capturées du documentaire (BX1, 2020) - Photos capturées de la vidéo explicative (CHU Saint-Pierre, 2020)	- Relevé photographique pendant la visite de l'hôpital - Schémas - Relevé photographique pendant la visite des USI - Plans des USI avant et pendant le COVID
3. L'hôpital Erasme	- Documents recueillis des adaptations effectuées (Trenchant, 2020) - Photo capturée d'un reportage (RTBF, 2020) Photos issues d'un article (Bolcina, 2020)	- Relevé photographique pendant la visite des USI - Photo pendant la visite de l'hôpital ( - Schémas - Plan des USI avant le COVID - Plan des urgences avant le COVID

## L'HOPITAL JOSEPH BRACOPS

La première étude de cas concerne l'hôpital Joseph Bracops situé à Anderlecht . Elle se base sur deux entretiens établis avec l'infirmière chef aux soins intensifs et un infirmier aux urgences. Les observations et les documents fournis par l'hôpital vont compléter cette analyse.

L'hôpital Joseph Bracops se caractérise par sa proximité et son accueil (Buset, 2017). Il se compose d'une série de bâtiments, 16 plus précisément, qui se sont développés au fil des années de manière hétérogène pour répondre aux besoins hospitaliers qui ne cessent d'évoluer. L'accès principal à l'hôpital se fait à partir de la rue Dr Huet du côté de l'entrée des ambulances et du parking et vers le premier bâtiment qui est le bâtiment A. Celui-ci accueille le service des urgences au niveau du rez-de chaussée. Le service des soins intensifs quant à lui est situé au premier étage du bâtiment adjacent qui est le bâtiment E. L'unité de soins intensifs compte 10 chambres dont deux avec sas. Seulement sept chambres sont utilisées en temps normal.

**Problèmes de l'espace hospitalier existant et limites des adaptations :** Rappelons d'abord que ce site représente un petit hôpital comparé aux deux cas qui vont suivre. Un certain nombre de limites a été exprimé par les usagers de l'hôpital Joseph Bracops. Les détails de ce site ont été observés et documentés pendant la visite au service des urgences et des soins intensifs. On peut voir que le premier répondant qui est infirmière chef au service des soins intensifs de cet hôpital décrit que l'espace aux USI « est fortement réduit » car pour elle « c'est un petit hôpital » n'ayant probablement pas assez de flexibilité en termes des adaptations possibles. Cette question va être mieux développée en lien avec la description des adaptations dans ce contexte. Il est important de noter que cette participante a insisté sur le « manque de flexibilité » vu qu'« ils n'ont pas suffisamment d'espace ».

De même, cette infirmière chef aux USI a montré pendant la visite que « deux chambres avec sas n'étaient pas assez » pendant cette crise sanitaire. Elle a également mentionné le problème lié au manque de « chambres d'isolement » (en rose) dans cet hôpital (figure 2). D'après cette même personne, « il aurait fallu la totalité des chambres d'isolement avec un sas ». Elle a également évoqué que « quand on ouvre la porte il faut se déshabiller soit à l'intérieur soit à l'extérieur » de l'unité car ils n'ont pas un espace dédié pour se changer. Il est clair que cette personne était consciente des problèmes d'espace qui ont rendu la performance du staff médical difficile pendant la gestion de cette crise.



Figure 2 - Gaaloul, M. (2022, mars 29). Une des deux chambres de soins intensifs avec sas et un accès au couloir poubelles. [Photographie].

L'entretien avec l'infirmier aux urgences de cet hôpital a également révélé des problèmes d'ordre architectural qui ont compliqué la mission du staff médical pendant cette crise. Cet infirmier considère, par exemple, que « les boxes » des soins dans ce service sont « pareillement distants », ce qui représentait un vrai problème de circulation pour le personnel soignant particulièrement dans une aussi « grande salle avec plusieurs malades ». Cet infirmier a souligné ce problème qui risque de compliquer le travail du cadre médical sur trois niveaux. Il a principalement mentionné le problème de l'intimité des patients qui selon lui « n'est pas top », les risques liés à la « transmission des bactéries », et finalement « le confort » des patients. La description de ces boxes et leur observation sur place ont montré qu'ils étaient fermés et « plutôt à l'arrière » du service des urgences. Le répondant a expliqué que ces espaces servaient à mettre les cas COVID. Comme nous pouvons voir sur ce plan du service des urgences de l'hôpital Joseph Bracops (figure 3). Cette figure illustre le problème décrit par l'infirmier aux services des urgences concernant l'emplacement des boxes de soins et les difficultés auxquelles le staff médical a fait face pendant la crise.



Figure 3 - Plan des urgences avant le COVID

**Besoins émergents :** Il est probablement utile de décrire les besoins créés par cette nouvelle réalité sanitaire aux soins intensifs de cet hôpital. D'après les entretiens, l'un des premiers besoins est de prévoir « la totalité des chambres d'isolement avec sas pour pouvoir s'habiller et se déshabiller pour le personnel » (l'infirmière chef). Il faut également prévoir des sorties de ces chambres vers un couloir poubelles. Dans le contexte d'une telle pandémie, la ventilation et la séparation des flux d'air est une nécessité d'après la représentante du personnel médical aux soins intensifs. Le staff médical de cet hôpital a considéré qu'il était indispensable de diminuer les déplacements entre l'espace COVID et non-COVID et entre les étages pour une sécurité optimisée et une performance professionnelle adéquate. On peut également identifier un besoin de dédier plus d'espace à l'espace sanitaire quand elle précise qu'« il faut vraiment beaucoup plus d'espace ». Quant aux urgences, les besoins ont été plus spécifiques. Ils concernent des espaces favorisant l'organisation du flux des patients en relation avec leur « arrivée, triage, [et] entrée ». (Infirmier aux urgences). Confirmant l'importance de l'espace, ce répondant évoque

un besoin réel pour un espace hospitalier qui soit plus grand. Il a exprimé un besoin de prévoir des solutions à long termes et non pas des solutions provisoires pour faire face à ces crises sanitaires.

**Adaptations, adaptabilité et flexibilité de cet espace hospitalier :** En termes d'adaptation et de flexibilité, et en rapport avec le flux des patients, ce petit espace et la structure architecturale existante n'a pas permis « un circuit COVID et un circuit non-COVID... Au service des urgences, l'infirmier a précisé que les adaptations ont été faites « au fur et à mesure des vagues et du flux ». Il n'y a pas de circuit possible pour séparer les deux ». La division des urgences en zone COVID et non-COVID a engendré d'autres problèmes en lien avec « les boxes fermés, stock du matériel et le box réanimation » qui étaient en zone COVID, ce qui a poussé l'hôpital à « en créer dans la zone non-COVID ». Aux urgences de ce petit hôpital, les adaptations se sont révélées « pas pratiques à cause de la contrainte de l'espace » car selon l'infirmier l'espace est « limité aux quatre murs ». Malgré l'espace réduit, et avec un vrai manque de préparation à la pandémie du COVID-19, les responsables à cet hôpital ont été obligés « de bricoler avec les moyens du bord avec des bâches, des paravents ». En ce qui concerne les types d'adaptations de l'espace hospitalier pendant la crise du COVID-19, Selon l'infirmier aux urgences de l'hôpital Joseph Bracops, le manque d'espace « rend difficile d'adapter et de rajouter des boxes ou créer de nouveaux espaces dans quelque chose qui est déjà limité au niveau de la structure ». En ce qui concerne les adaptations aux soins intensifs de l'hôpital Joseph Bracops, on peut remarquer que malgré la crise et les besoins qu'elle a imposé, il n'y a « pas eu beaucoup d'adaptations » à cause des contraintes de l'espace et la rigidité de la structure qui ne pouvait pas permettre une adaptabilité de l'espace existant. Un autre type d'adaptation indirectement lié à la structure architecturale du premier service étudié consiste au changement de fonction du personnel du quartier opératoire qui a dû travailler aux soins intensifs selon la chef infirmière. Pendant les deux premières vagues de la pandémie, il y a une réorganisation de l'hôpital avec la création du service COVID. Par exemple, « dès qu'un patient va mieux aux Unités des Soins Intensifs (USI), il va au service COVID ».

**Modificabilité :** Durant cette crise, le personnel de l'hôpital Joseph Bracops a eu recours au « déménagement d'une salle de rangement avec du gros matériel vers la salle d'attente ». Ceci a été favorisé par l'absence de visites et la disponibilité de la salle. Après les premières vagues de la pandémie et après la fin des confinements imposés, ils ont eu besoin de recréer une salle d'attente. Par conséquent, Ils ont laissé la salle jusqu'en mars dernier seulement et ils viennent de la reranger. L'une des adaptations nécessaires et réalisables dans ce contexte était l'augmentation du nombre de lits de 7 à 10 vu qu'ils avaient la possibilité d'augmenter en interne et vu qu'ils ont 10 chambres au total. Cet Exemple montre la façon par laquelle l'hôpital a exploité sa capacité maximale en rajoutant des lits. Dans le contexte des soins intensifs, la plupart des adaptations ont compris le déménagement de chambres et réaménagement d'autres « avec du matériel de monitoring, respirateur... ». D'après cette infirmière chef, il était possible d'adapter deux chambres supplémentaires pour faire faces aux nouvelles demandes de cette crise. Avec l'utilisation d'un seul espace COVID les déplacements et la circulation entre les espaces ont été limités. Cet espace a permis quelques modifications mineures avec des composants mobiles. Le plus gros changement qui était indispensable avec le manque de flexibilité et d'espace était de « séparer les urgences en deux espaces COVID et non-COVID (presque dès l'entrée) avec des panneaux et des bâches pour la fermeture entre les 2 zones ». L'infirmier des urgences a également expliqué que la création d'une zone COVID a permis de « fermer le reste derrière » tout en laissant « un seul accès et un seul médecin [avec] une infirmière qui restaient là-bas tout le temps ». La grande salle des urgences a été dédiée aux cas urgents non-COVID. D'après cette photo qui confirme les propos de l'infirmier, l'espace des urgences divisé provisoirement en urgence par les panneaux et les bâches a obligé le personnel de santé à « déplacer et dupliquer des salles en zones propres ». Par exemple, alors qu'ils ont créé « un box dans la salle spécialisée pour les cas graves qui ont été intubés », ils ont aussi créé « un stock de matériel dans la zone non-COVID ». Le deuxième répondant m'a également montré les endroits où a été créé à avec chaque vague un centre de testing. Ce centre de dépistage a été créé au début de la pandémie dans les urgences mêmes puis il a été délocalisé dans le parking devant l'hôpital avec des tentes de la croix rouge.

**Polyvalence :** En lien avec les problèmes évoqués auparavant empêchant les autorités sanitaires d'introduire suffisamment de modifications sur l'espace hospitalier dans ce contexte, nous pouvons plutôt parler de polyvalence. Pendant la première vague en 2020 et d'après l'infirmière chef aux soins intensifs de cet hôpital, « ils ont dégagé deux chambres à l'extérieur du labo de sommeil parce qu'elles étaient libres ». L'avantage de ces chambres est qu'elles étaient « équipées de douches et ont été utilisées par le personnel pour se laver avant de sortir de l'hôpital ». Malgré l'absence de toute modification physique dans ce service, nous avons pu observer l'introduction d'une nouvelle fonctionnalité à un espace déjà existant pour faciliter la décontamination du staff médical et l'amélioration de leurs conditions de travail.

## L'HOPITAL SAINT-PIERRE

La deuxième étude de cas est autour de l'hôpital Saint-Pierre situé à Bruxelles. Elle se base sur cinq entretiens établis avec un médecin chef de clinique aux soins intensifs, un deuxième médecin urgentiste, le directeur des infrastructures et des opérations de l'hôpital, un architecte et un ingénieur biomédical. Les observations faites sur place et des documents réalisés par le service infrastructure de l'hôpital et qui illustrent les différentes adaptations vont compléter cette analyse. L'hôpital Saint-Pierre se caractérise par son implantation au cœur de la ville. Initialement une léproserie, l'hôpital est aujourd'hui une référence en termes de traitement de maladies infectieuses. Il se compose de 10 bâtiments qui se sont développés de manière verticale au fil des années. L'hôpital dispose de trois accès principaux, l'accès vers les urgences se fait du côté de la rue Haute et le service des urgences se trouve au niveau du rez-de chaussée du bâtiment 600. Le service des soins intensifs est situé au 7ème étage du bâtiment 500 (figure 34). Il dispose de trois unités selon trois types de soins différents. Une unité de soins intensifs chirurgicaux (unité A) qui comprend 8 chambres dont deux avec sas. Une deuxième unité (unité B) qui est l'unité de soins intensifs médicaux qui compte aussi 8 chambres dont deux avec sas. La dernière est une unité coronaire qui dispose de 10 chambres avec sas (unité C).

### Problèmes de l'espace hospitalier existant et limites des adaptations

Pendant la visite guidée par un médecin chef de clinique aux soins intensifs à l'hôpital Saint-Pierre, des photos ont été prises (figure 4) pour illustrer l'impact du COVID sur la structure architecturale et le travail du staff médical. D'autres photos capturées d'un documentaire sur le même hôpital et d'une vidéo explicative ont servi à compléter cette analyse. Les résultats d'analyse des données relatives au deuxième cas d'étude vont être exposés puis discutés. Ce médecin chef de clinique a indiqué au début que l'USI A a ouvert en 1996 mais que « rien n'a changé depuis... peut-être la peinture une fois ou deux » et que les adaptations imposées par la crise sanitaire du COVID « ont demandé beaucoup de travail ». D'après la description de l'architecture de cet hôpital (Soins intensifs (USI), 2014), « L'unité de soins intensifs a emménagé dans de nouveaux bâtiments en l'an 2000. Elle bénéficie de locaux spacieux, modernes et rationnels. » Le Directeur des infrastructures et des opérations à l'hôpital a précisé également que « les adaptations doivent être incluses dans le PUH ». L'architecte interviewé a critiqué la stratégie adoptée pendant la crise en ce qui concerne les adaptations. Le problème principal était le manque de coordination avec un architecte au niveau de la conceptualisation et le plan des modifications. Pour lui, cela veut dire que ces adaptations ont été introduites sans une vraie « planification [ou] organisation ». Les entretiens ont également permis de découvrir d'autres difficultés d'une manière plus spécifique. D'après le médecin chef, malgré la disponibilité de nombreuses chambres, il est « impossible de les utiliser de manière efficace vu que ce sont des chambres isolées » les rendant non-fonctionnelles pendant cette pandémie. En termes de **flux et de circulation**, le médecin chef a parlé de la difficulté de performer des actes habituellement faciles tels que ramener du matériel médical et des médicaments pendant la crise sanitaire. L'architecte indépendant confirme qu'il faut « éviter que les gens se croisent » car d'après le Médecin chef il y a un problème au niveau de la « Gestion des flux des patients [et un] problème de communication ». De plus, il pense que l'entrée et la sortie des chambres des patients présente un défi réel car les soins intensifs demandent une surveillance continue des malades malgré les risques de contamination élevés.



Figure 4 - Gaaloul, M. (2022, avril 11). USI actuelles. [Photographies].

Le directeur des infrastructures et des opérations à l'hôpital Saint-Pierre décrit les USI actuelles comme étant « bien trop petites ». L'un des problèmes évoqués par le médecin chef à l'USI est que la transformation de l'unité 509 qui est une unité de pédiatrie en un espace COVID a révélé que c'était « une unité très longue ». Il s'est plaint également des chambres qui « sont trop petites » ne laissant pas suffisamment d'espace de circulation pour le staff médical surtout « dès qu'il y a du matériel ». Il précise que cet aspect entraîne des conséquences sur la performance du personnel médical car cet espace n'est pas vraiment pratique à cause de ces contraintes. Il dit, « on ne sait plus tourner autour du patient ». Le directeur des infrastructures et des opérations à l'hôpital Saint-Pierre fait le lien entre les problèmes rencontrés au niveau de cette unité avec le fait qu'il ne s'agit pas initialement d'une « unité pure USI ». Il explique que malgré sa correspondance aux critères demandés au niveau du traitement d'air, elle reste limitée au niveau des équipements. Le médecin chef a évoqué un autre problème lié à la **visibilité** à la suite des adaptations faites sur ce site. En se basant sur les caractéristiques de l'espace sanitaire en question, telles que perçues par le premier répondant, « les portes et fenêtres [sont] trop petites » dans l'unité de pédiatrie qui a été utilisée pour les cas COVID. A la base, ces fenêtres servent à contrôler les patients sans l'obligation d'entrer dans leurs chambres ce qui pose un problème de visibilité des patients. Pour ce médecin chef, quand on est « dans une chambre on ne voyait pas ce qui se passe dans la chambre voisine et dans toutes les autres ».

Le médecin généraliste urgentiste à l'hôpital Saint-Pierre a mentionné que l'hôpital « accueillait environ 180 personnes par jour par rapport aux autres hôpitaux bruxellois en moyenne » qui n'accueillent qu'« entre 15 et 20 patients ». Il pense que cette répartition n'est pas équitable. En d'autres termes, l'hôpital a fait face à une pression sans précédent excédant sa capacité à cause de la pandémie.

L'architecte indépendant interviewé dans cette étude a précisé que son rôle a consisté juste à dessiner le plan d'implantation des adaptations faites pour le tri des urgences, sans qu'il n'ait eu le pouvoir de décider des adaptations à faire dans ce contexte. Des problèmes différents ont été observés et identifiés par ce professionnel qui a mis le doigt sur le problème de devoir « sortir à l'opposé du circuit » créé. En effet, le circuit est un mélange d'espaces intérieurs et extérieurs. Il a comparé cet espace à une « sorte de labyrinthe ». Ses perceptions des problèmes de sa perspective en tant qu'architecte couvrent beaucoup de limites dans cet espace. Selon, le médecin urgentiste travaillant à l'hôpital Saint-Pierre, le flux important des malades qui correspond à un nombre de patients « sur places [qui] a triplé » à l'hôpital pendant la crise sanitaire, a fait que le nombre de personnel a augmenté aussi. Ce facteur a entraîné un vrai déséquilibre pendant la crise. L'ingénieur biomédical qui a participé à l'élaboration des adaptations au niveau des urgences, a également évoqué l'implantation des tentes mises pendant le COVID qui étaient « collées les unes à côté de l'autre ». Il a considéré tout le parcours installé vers les urgences comme étant « bizarre ». D'après l'entretien, ses remarques ont été fondées sur des observations du flux des patients montrant que « l'arrivée des gens sur le site était particulière » pendant cette pandémie et les caractéristiques de la structure adaptée n'étaient pas adéquates à la gestion des flux des patients.

Le directeur des infrastructures à cet hôpital pense que cet espace hospitalier « est vraiment encaqué dans la ville ». Il explique ce problème par son emplacement sans un milieu urbain. Donc, cet hôpital a des contraintes particulières qu'on ne trouve pas dans « les hôpitaux en bordure d'agglomération avec des surfaces disponibles... ». Ce manque d'espace est visible dans l'absence « de grandes salles d'attentes » selon le directeur. Deux répondants ont parlé de la « contrainte de place » (ingénieur biomédical ; directeur des infrastructures et des opérations à l'hôpital). Ils pensent que le manque de place aux urgences rend difficile le tri qui « se fait à l'extérieur » (directeur des infrastructures et des opérations). Ce problème de tri a été également confirmé par le médecin généraliste urgentiste. Ce dernier a mis l'accent sur la question de tri. Pour surmonter ce problème d'espace, l'hôpital était dans l'obligation de créer un triage devant l'hôpital pour « rediriger les gens vers les urgences zones COVID et non-COVID » (ingénieur biomédical). Le directeur des infrastructures et des opérations à l'hôpital Saint-Pierre a semblé être conscient du même problème quand il a déclaré que « le tri doit se faire le plus en amont possible ». Pour l'ingénieur biomédical qui a aidé pendant la création des boxes de consultation à l'extérieur des urgences, « l'hôpital n'a pas su réagir rapidement » confirmant le manque de préparation à une crise de cette ampleur. La réduction rapide de l'« utilisation des boxes parce qu'ils ont un peu surdimensionné » confirme que les premières réactions à la crise n'étaient pas bien planifiées.

Ce qui a compliqué la situation durant les adaptations dans cet espace est qu'il « n'est pas adapté » (ingénieur biomédical). En effet, il explique que la nature de la surface de la cour des urgences n'est pas plane. Cette dernière personne a parlé de l'entrée des urgences qui « est un peu étriquée », donc un espace rigide et plutôt difficile à adapter. Il a également précisé que l'espace qu'ils ont pu utiliser devant les urgences pour la zone de tri était plutôt réduit. Ils n'ont pas pu utiliser la totalité de la cour, vu que celle-ci est dédiée partiellement à la circulation des ambulances. En effet, il a expliqué : « On n'a pas pu mettre quelque chose à cet endroit-là parce qu'ils bloquaient l'accès de toutes les ambulances ».

Les adaptations faites selon le médecin chef aux soins intensifs n'ont pas toujours résolu les problèmes qu'a affronté le staff médical à cet hôpital. Ils ont fait face à des problèmes liés à d'autres facteurs tels que les équipements manquants et le personnel médical. Ce médecin est allé jusqu'à considérer l'aménagement de la salle de réveil comme « une forme d'erreur parce qu'ils n'avaient pas tout l'équipement nécessaire ». Pour lui, « les solutions n'ont pas été un grand succès » aux soins intensifs comme il y avait ou « trop de personnel pour très peu de patients » ou un « manque de personnel ». A titre d'exemple, et comme l'a expliqué le médecin chef de clinique aux soins intensifs à l'hôpital Saint-Pierre, le défi était de trouver « du personnel en permanence pour les patients » dans les chambres de soins intensifs. Ces patients ont « besoin d'une ventilation assistée » ce qui a rendu la présence du staff médical en plus des équipements et l'espace nécessaire indispensable. De cette perspective, les adaptations ne dépendent pas uniquement de la structure hospitalière mais d'autres facteurs tels que le personnel disponible et le matériel nécessaire.

**Besoins émergents :** D'après les entretiens avec 3 représentants du staff médical et les deux autres professionnels, il est possible d'identifier un bon nombre de besoins architecturaux imposés par cette pandémie. Le médecin chef de clinique aux soins intensifs à l'hôpital Saint-Pierre a clairement exprimé un besoin pour plus « de place et d'espace » dans ce service. Il a également insisté sur le besoin de créer deux espaces séparés COVID et non-COVID avec sas tampon pour faciliter le déplacement et le changement des EPI du staff médical entre les deux espaces en toute sécurité.

L'espace USI doit également favoriser une meilleure visibilité des patients pour que le personnel de santé mène à bien sa mission tout en minimisant le risque d'un contact avec le patient contaminé. Parmi les autres besoins, en rapport avec la question d'espace supplémentaire en soins intensifs, on doit prévoir dans la conception de ce service, en particulier, des chambres plus spacieuses qui peuvent minimiser les déplacements « des patients de leurs chambres pour les procédures médicales ». Autrement dit, les chambres devraient avoir la capacité de contenir le lit du patient et le matériel nécessaire pour son suivi médical tout en offrant un espace de circulation pratique pour le staff médical. La sécurité du staff médical a besoin d'être assurée également par un accès facile au stock d'après ce médecin chef de clinique aux soins intensifs.

De même qu'aux USI, la conception de l'espace sanitaire dans le futur devra reconsidérer un certain nombre d'aspects importants. Le médecin généraliste urgentiste à cet hôpital a évoqué la question de « **circulation** » qui est d'une importance particulière puisqu'il faudra « repenser les flux des gens » et la question d'**isolement**. Ce dernier aspect pourra favoriser la séparation des maladies contagieuses. L'un des objectifs principaux de l'isolement des cas contagieux est d'« éviter la contamination de la structure hospitalière ». Pour assurer la sécurité du personnel médical, l'ingénieur biomédical a exprimé le besoin de l'isolement de « la partie patient et la partie médecin [en y dédiant] deux espaces séparés ». Il a même précisé qu'ils ont eu besoin de trois boxes, un de taille standard pour le médecin, et deux boxes pour les patients dont un grand pour femme avec enfant ou une personne à mobilité réduite.

L'architecte indépendant a semblé avoir une vision plus générale et technique de la crise. Il a insisté sur l'importance d'anticiper bien à l'avance tous les problèmes discutés auparavant pour une meilleure préparation aux crises. Il pense qu'il est nécessaire de « penser en amont à ce genre de problème pour éviter de se trouver en dernière minute à mobiliser des tentes et des scouts pour aider à la construction. De sa perspective de professionnel dans le domaine d'architecture, il a identifié des besoins auxquels les autres intervenants n'ont pas pensé. Pour lui, il est nécessaire d'« avoir des matériaux facilement nettoyables et désinfectés [et de] ne pas utiliser des matériaux granuleux » et facilement lavables. Finalement, il est indispensable d'utiliser « une structure facile et rapide à monter ».

**Adaptations, adaptabilité et flexibilité de cet espace hospitalier :** D'une manière générale la crise a engendré une « réorganisation de tout l'hôpital » surtout après l'arrêt de toutes les activités considérées moins urgentes que le COVID. En d'autres termes, tout l'hôpital a dû d'une manière ou d'une autre s'adapter à la pandémie. L'analyse d'un documentaire réalisé au CHU Saint-Pierre sur le COVID en mars 2020 montre que le comité de direction de l'hôpital confirme les propos de ce médecin chef. Ce comité a mis l'accent sur l'importance d'anticiper de tels événements et de « préparer l'hôpital à tous les scénarios » possibles. Pour Philippe Leroy, directeur général de l'hôpital, l'endroit « est méconnaissable, toute la structure des soins a été repensée pour s'adapter à la prise en charge des patients COVID et non-COVID pour limiter les risques de contaminations ». L'analyse des plans des adaptations faites aux services d'urgences a servi à mieux comprendre la nature de ces adaptations.

**Extensibilité :** Une vidéo explicative (CHU Saint-Pierre, 2020) du système de tri créé à l'extérieur de l'hôpital Saint-Pierre a été analysée. L'analyse de cette vidéo a permis de montrer (1) les adaptations, (2) le circuit du patient avant et après le tri, (3) les espaces dédiés aux patients et au staff médical et (4) les matériaux utilisés. Dans cette vidéo explicative nous pouvons voir un certain nombre d'adaptations auxquelles la personne interviewée aux urgences a fait référence pendant l'entretien tout en me conseillant de consulter cette vidéo pour de plus amples détails. Des photos fournies par le médecin urgentiste ainsi que des captures d'écran qui ont été prises de la même vidéo ont également servi à illustrer ces adaptations.

La vidéo confirme les propos du médecin urgentiste pendant l'entretien. La stratégie d'adaptation des urgences de l'hôpital Saint-Pierre aux demandes de la pandémie a été décrite par le médecin urgentiste dans la vidéo et pendant un symposium présenté en février 2021 déclarant que les « centres de tri spécifiques en « DROPLETS-CONTROL » ont pris en compte les aspects suivants :

- Externaliser,
- Organiser un « Tri extérieur qui chasse »,
- « Tri qui classe » intra-hospitalier,
- Protection
- Soignants (très largement : administratifs, nettoyage, brancardage...),
- Patients,
- Blocs étanches pour la désinfection par nocolyse

(Decroly, 2021)

En effet, «la décision d'externaliser le tri des patients qui arrivent aux urgences de l'Hôpital Saint-Pierre a été prise pour d'une part désengorger au maximum le service des urgences et permettre de traiter un grand nombre de patients». La description des circuits COVID et non-COVID dans la vidéo nous permet de comprendre que « les patients sont dirigés depuis ce centre vers des boxes de tri », qui ont été créés d'après Decroly (2021) et qui ont comporté « quatre cabines de consultations avec un couloir réservé uniquement aux patients » et un autre réservé aux médecins seulement. Cette adaptation a rendu possible l'isolement des cas COVID des cas non-COVID assurant leur sécurité et celle du cadre soignant. Une « plaque en Plexiglas » assure cet isolement entre l'espace du patient et la cabine bien équipée du médecin pendant les consultations. D'après la vidéo (CHU Saint-Pierre, 2020), « le couloir pour le corps médical est totalement équipé avec une ligne data pour un PC si on le désire, un chauffage, un téléphone et le Plexiglas » avec un système (un macaron jaune sur la porte) permettant « de déterminer si oui ou non la cabine de consultation est infectée pour effectuer le plus rapidement possible la désinfection ».

En ce qui concerne les matériaux utilisés, « ces modules sont constitués de plexiglas et de bois mélaminé afin d'en faciliter au maximum l'entretien et la désinfections ». Il était également important de construire des « blocs [...] étanches pour pouvoir faire une désinfection par nocolyse » (Decroly, 2021).

**Modificabilité :** En ce qui concerne le flux des patients, quatre circuits ont été créé. « Le premier circuit est un circuit qui va vers les urgences classiques, [...] le deuxième circuit d'un circuit qui les redirige vers des petites consultations les deux derniers circuits sont réservés aux patients suspects de COVID » Des couleurs ont été utilisés pour mieux marquer ces différents circuits (figure 5) en plus de l'utilisation d'un bus de tests PCR le 4 avril 2020 (Decroly, 2021). Le médecin urgentiste a considéré que le bus était pratique dans la gestion du flux pendant la pandémie car ils ont créé deux « flux séparés » pour les testés et les non testés. Une unité COVID a été créée aux urgences afin d'accueillir les cas COVID confirmés. Toute cette structure a été « isolée du monde extérieur afin d'éviter des contre-flux » tout en assurant une circulation facile des patients (Decroly, 2021).

D'après le premier répondant (médecin chef de clinique aux soins intensifs) à l'entretien de cet hôpital l'une des adaptations était d'utiliser les chambres d'isolement situées dans les coins des unités A et B qu'on peut apercevoir en rose sur la figure 44. En effet, toutes les chambres ouvertes avec rideaux sont restées vides pendant la crise parce que leur utilisation n'était pas pratique selon lui. De ce fait, « rendre les chambres [des soins intensifs] comme isoloir avec un sas d'entrée et la chambre de soins » a compliqué la situation.

L'unité C a été également utilisée pour accueillir les patients COVID en plus des 4 lits disponibles aux unités A et B (figures 6 et 7). La création de 14 lits dans ces unités a impliqué des modifications mineures avec des composantes mobiles. Des séparations avec des bâches ont été installées, la salle d'ascenseurs qui sont verrouillées a été utilisée comme un espace de rangement à partir du COVID. Le couloir derrière les chambres a été utilisé pour mettre du matériel et stocker des équipements. Le médecin chef et le documentaire analysé décrivent la transformation de la salle de réveil d'anesthésie en unité de soins intensifs non-COVID. Le documentaire illustre aussi des signalisations sur les portes des chambres pour indiquer l'état du patient et si la pièce a été décontaminée ou non ainsi que la création de sas virtuels par de marquages au sol.

**Convertibilité :** Le médecin chef de clinique évoque aussi la transformation de l'unité de pédiatrie en unité COVID pendant les trois premières vagues. C'est une unité de 16 lits avec sas qui n'était pas prévue pour les soins intensifs mais qui comporte des chambres avec sas. Il explique également que l'utilisation de cette unité a été possible grâce au fait qu'elle était disponible au début de la crise sanitaire. Le directeur des infrastructures rajoute que la présence du traitement d'air dans ses chambres a permis leur utilisation. Le médecin rajoute aussi que l'adaptation de ces chambres était nécessaire en y installant des prises, des raccords d'eau ainsi que des séparations. Les adaptations à l'hôpital Saint-Pierre ont été établies sur de différentes échelles selon l'espace existant et disponible.

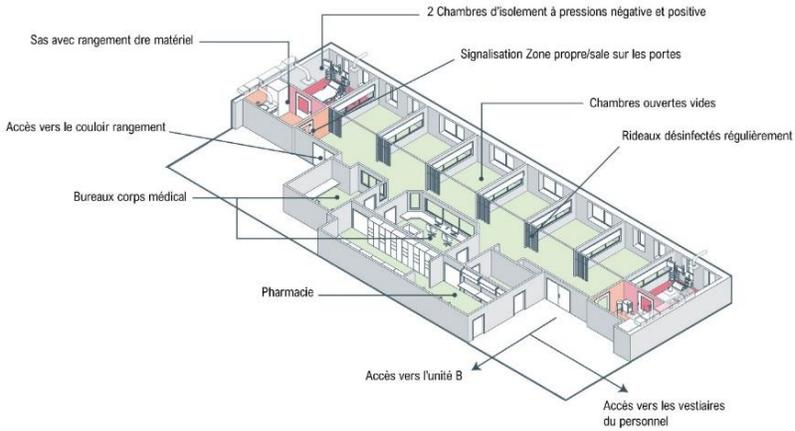


Figure 5. Principales adaptations à l'USI A de l'hôpital Saint-Pierre



Figure 6. Plan des USI avant le COVID



Figure 7. Plan des USI pendant le COVID

## L'HOPITAL ERASME

La dernière étude de cas est autour de l'hôpital Erasme situé également à Anderlecht. Comme pour les deux premiers cas des entretiens, dont un en groupe, ont eu lieu avec quatre intervenants. Le premier est avec un médecin chef de service des soins intensifs, un infirmier en hospitalisation, un infirmier chef adjoint avec un médecin travaillant tous les deux au service des urgences et un architecte responsable des chantiers au département infrastructure de l'hôpital Erasme. Les observations pendant la visite des soins intensifs ainsi que les documents fournis par l'architecte vont permettre de compléter cette analyse. D'après la description de cet hôpital sur le site officiel de cet établissement, l'hôpital comporte 8 bâtiments. L'hôpital Erasme est différent des deux cas vus précédemment. Il se caractérise par sa taille et son implantation en bord d'agglomération et sur le campus de l'université libre de Bruxelles. L'accès au site se fait des deux côtés de l'hôpital. Les bâtiments principaux se composent de quatre ailes : Nord, Sud, Est et Ouest. L'aile Ouest accueille le service des urgences et les USI. Celles-ci se trouvent à l'étage -1. Le service des soins intensifs dispose de 35 lits répartis sur cinq unités.

**Problèmes de l'espace hospitalier existant et limites des adaptations :** Cette partie va exposer les résultats de l'analyse des données documentaires, des notes d'observation et des entretiens. Une visite guidée du site de cet hôpital a aidé à recueillir des détails complémentaires avec les photos prises sur place ainsi que des plans fournis par l'architecte travaillant à l'hôpital (figure 8). Le premier type de problème que nous avons pu identifier concerne l'espace. Le premier répondant qui est médecin chef de service des soins intensifs a précisé que « l'hôpital a été construit en 76/77 et les chambres ne sont pas comme dans les hôpitaux récents ». Il pense que « l'espace n'est pas énorme [et que] nos chambres sont petites ». L'architecte responsable des chantiers à l'hôpital confirme la même idée en évoquant que « l'architecture des chambres date de cette époque-là donc on ne sait pas faire grand-chose ». D'après ces propos, le problème principal provient de l'architecture et de l'état des chambres dans ce service. Aux urgences, le même problème d'espace limité a été évoqué et par l'infirmier chef adjoint travaillant au sein de ce service à Erasme. La gestion de la crise a été clairement difficile « en termes d'espace ». Il insiste sur les surfaces qui « sont limitées ». Le répondant a comparé cet hôpital à un autre établissement hospitalier « de la même taille » insistant sur les efforts déployés dans la lutte contre la pandémie malgré les contraintes d'espace. Par exemple il déclare : « on a quand même un service des urgences qui est très petit mais on a fait des belles choses » (Infirmier chef adjoint aux urgences). Ce service des urgences n'est pas seulement trop petit mais également « mal structuré ». Selon cet infirmier chef, ce problème a toujours existé. Seulement, la crise n'a fait qu'ouvrir leurs yeux sur le problème. Le médecin des urgences a expliqué plusieurs fois que le service est « Trop petit [...] d'un point de vue gestion de l'espace et du circuit » des patients. L'architecte responsable des chantiers à l'hôpital Erasme partage cet avis quand il a déclaré que « les urgences chez nous sont sous dimensionnées et les boxes de soins ne sont pas très grands ». L'infirmier chef adjoint ajoute que ce problème de manque d'espace était bien présent avant la crise du COVID et a été accentué durant la pandémie. Pour répondre à ce problème l'architecte explique qu'ils étaient dans l'obligation d'aller en dehors des urgences pour gérer les flux puisque « travailler dans les surfaces intérieures ce n'était pas possible ».

De plus, « diviser l'espace en unités COVID et non-COVID était compliqué » car comme l'architecte responsable des chantiers à l'hôpital Erasme a expliqué, ces zones sont parfois difficiles à délimiter et les flux des patients peuvent être incontrôlables. Par conséquent, « et à la fin de la crise sanitaire ils ont mélangé COVID et non-COVID » (Médecin chef de service des soins intensifs à l'hôpital Erasme). En lien avec son activité professionnelle, l'infirmier en hospitalisation à l'hôpital mentionne le problème de « manque de lits et de matériel » également. Pour le médecin chef de service des soins intensifs, la question d'imprévisibilité a été un problème majeur pendant la crise. Nos hôpitaux ne sont sûrement pas conçus pour faire face à une crise d'une telle ampleur. L'architecte responsable des chantiers à l'hôpital a explicitement critiqué les soins intensifs de l'hôpital Erasme. Il pense qu'ils « ils ne sont pas adaptés » pour une pandémie d'une telle ampleur et qu'ils « ne sont pas optimaux de manière générale ». De même, l'infirmier chef adjoint et l'architecte responsable des chantiers à l'hôpital Erasme ont conclu que « l'espace n'est pas flexible ». Par exemple, « les urgences actuelles ne sont pas prêtes à refaire la même chose, pour preuve, la deuxième vague on n'a pas fait ces deux flux distincts parce que finalement ce n'était plus possible surtout quand on gardait l'activité hospitalière habituelle plus les patients COVID ». D'autres types de problèmes ont pu être identifiés au deuxième service étudié. Le premier concerne la circulation difficile. En effet, les entretiens ont révélé que cet « espace n'est pas optimal pour la circulation des malades ». L'architecture de ce vieux service sous forme d'un couloir en forme de « ligne droite » qui fait qu'« on revient sur nos pas » . « C'est un couloir... un long couloir ». Infirmier chef adjoint aux urgences)

comme on peut l'apercevoir sur le plan du service sur la figure 8. Dans l'un des entretiens avec un médecin et un infirmier chef adjoint aux urgences à l'hôpital, on a pu identifier un problème des « flux existants vers l'imagerie, les salles interventionnelles, d'angiographie, d'endoscopie ». Ces flux parfois incontrôlables des patients « sont très longs et un peu alambiqués ». En ce qui concerne les problèmes de flux et d'accès, l'architecte responsable des chantiers à l'hôpital précise qu'il vaut mieux que les patients arrivent aux urgences « par l'arrière et arrivent par l'entrée des urgences qui se trouve à l'arrière du bâtiment » et qu'ils n'arrivent pas du côté de l'entrée des transports en commun qui se trouve à contre-sens. En revanche, le grand problème durant la crise et le mélange des flux qui venaient des deux sens n'a pas facilité la tâche.



Figure 8. Plan des urgences avant le COVID

Par conséquent, le travail du cadre soignant devient difficile avec plus de risques de contamination aux urgences. L'architecte responsable des chantiers à l'hôpital a rajouté que ce service « ne permettait pas de séparer et de trier les patients, d'organiser le flux COVID séparé du flux urgences traditionnel » notamment avec le flux important et imprévisible des patients. D'après ces propos, la question est celle d'un problème de capacité. « L'hôpital n'était pas prêt à avoir autant de patients à trier et éviter qu'ils se croisent ». « Les urgences les flux ne sont pas adaptés pour ça non plus. Donc on n'était pas vraiment prêts ». L'infirmier chef adjoint explique que les variations du nombre des patients est un facteur difficile à gérer. En ce qui concerne les locaux qui disposent d'un système de traitement d'air, le médecin urgentiste décrit qu'aux urgences ils n'ont qu'une seule chambre à flux positive. L'architecte responsable des chantiers rajoute qu'« aujourd'hui, on a peu de locaux qui permettent de mettre des patients en dépression aux urgences il y'a un box et aux soins intensifs maintenant il y'en a huit ». L'un des grands problèmes des soins intensifs les rendant incapables de combattre une telle pandémie est qu'« ils n'ont que 8 locaux pour dépression ». Malgré l'augmentation du nombre de ces locaux qui n'étaient que 6, ce nombre est toujours insuffisant.

**Besoins émergents :** Il est particulièrement utile de confronter les propos des répondants en regard du thème des besoins suite à la crise du COVID-19. Pour l'architecte responsable des chantiers à l'hôpital Erasme, la pandémie impose l'utilisation de « beaucoup de surfaces ». L'infirmier chef adjoint aux urgences confirme ce besoin en disant que « pour faire deux flux distincts il fallait augmenter la surface » au niveau du service.

Comme dans la première étude de cas, le médecin chef de service des soins intensifs à l'hôpital Erasme a déclaré que les « besoins ont changé au fur et à mesure des vagues ». Les besoins qui ont émergé suite à la pandémie sont essentiellement liés à l'hygiène des usagers de l'espace hospitalier. De sa perspective d'architecte, le responsable des chantiers à cet hôpital a déclaré que l'un des besoins immédiats est d'« assurer l'entrée dans la chambre et la sortie en respectant le maximum de l'hygiène ». Le besoin d'« Organiser les flux » des patients aux urgences où l'accueil et l'orientation des patients est d'une importance primordiale au bon déroulement des soins et la sécurité des usagers des urgences selon le médecin urgentiste et l'infirmier chef adjoint. En revanche, ces

deux derniers répondants ont semblé être d'accord sur deux besoins qui consistent en la bonne séparation de « la zone sale de la zone normale dans chaque unité ». Aux urgences, le besoin d'avoir une zone d'accueil et deux zones de tri a été évoqué. L'architecte responsable des chantiers au même l'hôpital, a insisté sur la nécessité d'« éviter les allers retours inutiles du personnel ». D'après le médecin chef de service des soins intensifs, l'un des principaux besoins est de fournir « des lits avec sas à pression négative ». Néanmoins, et selon ce médecin, l'hôpital a besoin d'une redistribution des lits plutôt que leur multiplication. Deux des répondants ont évoqué l'importance d'un « système de ventilation » (médecin chef de service des soins intensifs à l'hôpital et Architecte responsable des chantiers à l'hôpital Erasme).

**Adaptations, adaptabilité et flexibilité de cet espace hospitalier :** Le médecin chef de service aux soins intensifs a précisé que plusieurs adaptations ont été réalisées à l'hôpital Erasme pour gérer la crise. Certains services ont fermé tel que le service de chirurgie et d'autres ont continué leurs activités mais avec un nombre réduit de patients comme le service de neurologie. Les soins intensifs ont augmenté et diminué le nombre de lits en fonction du moment et le service des urgences a dû être réorganisé en totalité pour absorber ce flux énorme de patients COVID. Selon lui, ces adaptations ont été réalisées pour suivre la demande et la restructuration des services qui prend généralement des mois a été faite assez rapidement et sur une période courte pour répondre à l'urgence de la situation. L'analyse des entretiens ainsi que des plans des adaptations fournis par l'architecte responsable des chantiers de cet hôpital va permettre de mieux les comprendre.

**Convertibilité :** Ce médecin chef de service et l'architecte interviewé ont tous les deux décrit les adaptations de l'espace au service des soins intensifs qui ont servi à augmenter le nombre de lits et agrandir les unités vers l'étage et vers l'hôpital de jour. Dans cet hôpital, des lits ont été créés pour le COVID au niveau des salles d'opérations et l'infirmier en hospitalisation a rajouté que la salle de réveil post opération a été organisée pour des malades intermédiaires également. Le médecin chef de service a indiqué que cette salle était déjà équipée de respirateurs ce qui était pratique. Pour résumer, l'augmentation des lits vers l'hôpital de jour a impliqué une réorganisation des entrées, des sorties et de la gestion des déchets. L'architecte responsable des chantiers a indiqué que la condamnation de certains accès et de certains locaux et l'organisation de l'espace en différentes zones ont été réalisées pour mieux gérer les flux. Le médecin urgentiste confirme que cette adaptation a été réalisée aussi au niveau des urgences, vu qu'ils ont fermé certains passages et accès avec des cloisons pour éviter les croisements entre les flux propres et sales. L'architecte explique également que l'adaptation de la ventilation dans certaines unités a été une obligation pour pouvoir accueillir les patients COVID.

**Modifiabilité :** Les lits au sein des soins intensifs ont presque doublé à l'hôpital Erasme. Ils sont passés de 30 lits à 65 lits à la première vague et cela était « possible grâce au fait qu'au niveau de l'architecture, on avait les chambres qui pouvaient être adaptées et le personnel qui allait avec ». Il a également rajouté que ces lits ont été adaptés en fonction des vagues et l'utilisation des 12 lits d'isolement déjà disponibles au service des soins intensifs a été privilégiée. La division de l'espace au sein de la même unité, en zone sale et zone propre a été réalisée.

Dans certaines USI telle que l'unité 5, ils ont créé des sas imaginaires devant chaque chambre avec des bandes collées sur le sol pour pouvoir se changer. Le médecin décrit cette adaptation comme ceci « faire du marquage au sol pour délimiter des zones pour pouvoir se changer avant de rentrer dans la chambre, faire des zones avec les poubelles etc. ». La création de système de stockage de matériel sale et de réserves pour éviter les déplacements inutiles du personnel et du corps médical a été complétée par l'ajout de vestiaires et de bureaux dans chaque zone. L'architecte explique qu'ils ont consacré à chaque début d'aile et dans chaque unité 6 ou 7 chambres intermédiaires pour les locaux logistiques. Le médecin chef de service des USI a rajouté qu'ils ont dû utiliser des lits de l'unité cardiologie qui est une unité de surveillance coronaire pour les cas de réanimations non-COVID. C'est une unité qui était déjà équipée de moniteurs donc ils avaient juste rajouté des respirateurs. Il a expliqué que la création de lits sous pap pour stabiliser les malades qui arrivent de l'extérieur ou de l'étage a aidé à soulager le système hospitalier avant de les transférer vers un autre hôpital. L'architecte ajoute qu'ils ont remplacé toutes les tentures dans les USI et les urgences par des tentures en papier jetable pour diminuer la contamination. Il décrit globalement les adaptations aux USI existantes comme des adaptations minimales « Dans les soins intensifs on a fait moins d'adaptations ».

Au niveau du service des urgences (figure 9), le corps médical a commencé par utiliser le box 23 qui était à flux négatif pour accueillir les patients COVID mais, par la suite et avec l'augmentation du nombre de patients, ils ont dû faire d'autres adaptations et séparer les urgences en zone COVID et non-COVID. Ils ont également créé deux unités de déchoquage pour les patients en état intermédiaire avant de les envoyer dans les USI.

**Extensibilité :** Dans la suite des adaptations réalisées au niveau du service des urgences, la construction d'un nouvel accueil à l'extérieur de l'hôpital avec la fermeture du préau déjà existant a été réalisée pour pouvoir gérer

les flux des patients. Selon le médecin aux urgences et l'architecte, un parcours a été organisé du côté du garage des ambulances et de l'entrée des urgences. Un premier tri a été mis pour distinguer les patients COVID des non-COVID au niveau de l'espace des ambulances. S'il s'agit d'un patient non-COVID, il se dirige vers la sortie en zone propre. S'il nécessite des soins, il va vers la bibliothèque qui a été aménagée avec 6 lits pour les consultations. Si le patient est dans un état aigu il va vers le laboratoire de choc. Si le patient est COVID positif, il est dirigé vers une zone de tri secondaire au niveau du sas des ambulances et du carport. Ensuite, il va aux urgences dans la zone COVID ou vers la sortie. A partir de la deuxième vague et quand l'hôpital a repris son activité habituelle, d'autres adaptations ont été faites. Des modulaires pour le tri ont remplacé les tentes et les sas des ambulances. Les flux des patients n'étaient plus séparés mais les boxes l'étaient ainsi que le couloir des urgences qui était divisé en deux parties. Une à l'avant de la garde et une à l'arrière pour l'hospitalisation provisoire des patients fortement suspects COVID. Selon le médecin aux urgences, le parcours commençait par les 3 modulaires dans une zone vide pour l'inscription des patients, une zone d'attente qui est pour le pré tri pour les patients COVID et non-COVID et ensuite un tri effectué par les infirmières dans 2 modulaires. Si le patient est COVID il va vers la zone COVID des urgences. S'il ne l'est pas, il va vers un 3<sup>ème</sup> modulaire pour les consultations. Selon l'architecte, le testing était réalisé dans des locaux mais dans une autre aile de l'hôpital il n'y a pas longtemps.

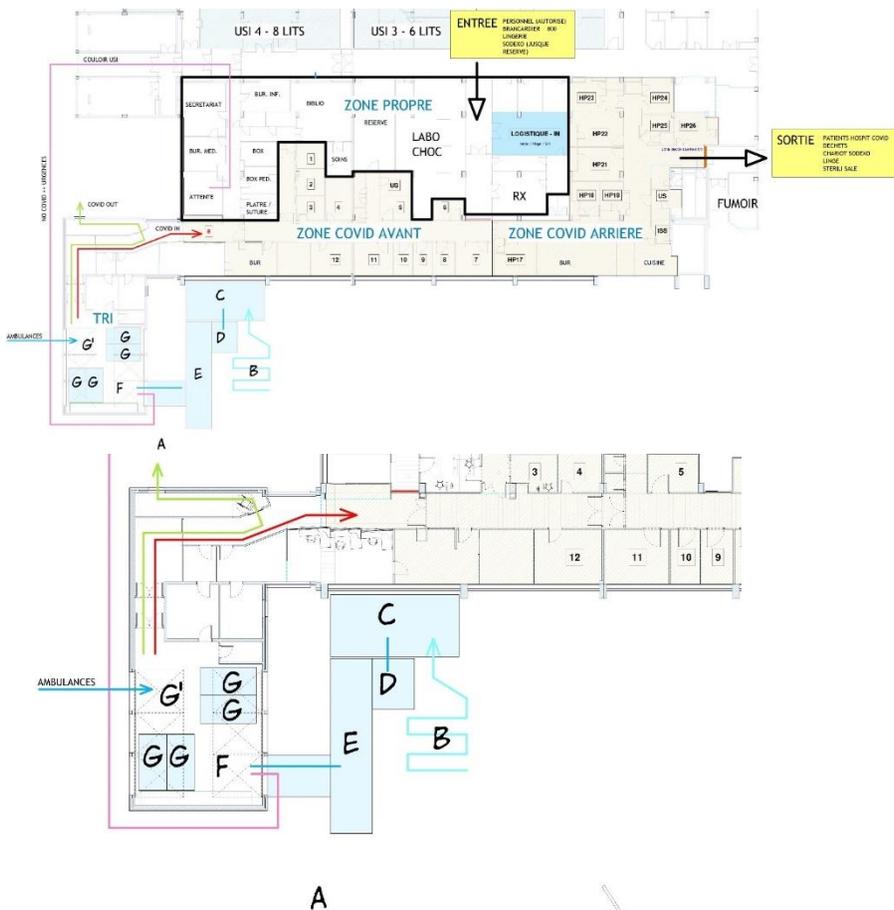


Figure 9. Plans des adaptations à l'hôpital Erasme au niveau des urgences. Reproduit de « Aménagements COVID », par Trenchant, F. (2020). Erasme.

## DISCUSSION

Au-delà de l'exploration des problèmes que la crise du COVID-19 a révélé autour de l'espace hospitalier et les besoins du personnel de santé qui ont émergé à la suite de cette crise, les études de cas menées m'incitent à interroger de façon plus large la conception de l'hôpital. Un impact positif de la pandémie actuelle est la chance qu'elle offre pour les chercheurs, professionnels de l'architecture et le corps médical pour réfléchir sur la préparation de nos hôpitaux à des événements majeurs comme cette pandémie. L'un des autres objectifs de ces études de cas était de déterminer les types d'adaptations faites pour gérer cette crise. Cette étude qualitative basée sur une triangulation des sources des données et des méthodes a permis de répondre aux trois questions de recherche de cette étude.

En observant les principales transformations des établissements de santé, il est à noter que ces hôpitaux bruxellois ont subi des transformations en fonction des contextes spécifiques dans chaque cas confirmant les résultats de Setola et al. (2021). En rapport avec la première hypothèse de cette étude, les résultats de l'analyse qualitative des entretiens, documents et notes d'observations, ont montré que ces trois hôpitaux bruxellois ont subi plusieurs types d'adaptations de l'espace qui ont varié d'un contexte à un autre et d'un service à un autre.

Néanmoins, il est important de souligner que comme le montre le tableau 11 ci-dessous, aucune transformation majeure avec changements d'infrastructure n'a été introduite. Toutes les solutions adoptées en termes de la résolution des problèmes d'espace dans ces hôpitaux ont concerné la polyvalence, la modifiabilité et l'extensibilité. Cela prouve que ces hôpitaux n'ont pas été assez flexibles ou que le facteur de temps a probablement joué un rôle dans la mise en place de ces adaptations. Les résultats atteints peuvent indiquer que dans ces trois cas, la flexibilité et la mise place des adaptations désignées (Brambilla et al., 2021 ; Langevin, 2018) n'ont pas nécessairement correspondu à la complexité de la pandémie et de l'organisation spatiale des deux services étudiés dans ces hôpitaux (Lukasik & Porębska, 2022). En effet, la réalisation des adaptations a dépendu de la faisabilité des modifications selon la nature de chaque espace (superficie, disponibilité des espaces, caractéristiques...).

Nous pouvons observer à partir de ces résultats que ces adaptations de l'espace ont plus ou moins réussi à répondre aux besoins qui seront discutés plus tard. Les propos du personnel soignant et les gestionnaires ainsi que les architectes confirment que ces adaptations de l'espace ont été une nécessité pour l'optimisation des services sanitaires et la sécurité des usagers de l'hôpital pendant cette crise (Lukasik & Porębska, 2022).

En ce qui concerne les adaptations faites pour augmenter la capacité et répondre au manque de lits dans ces trois hôpitaux, nous pouvons identifier des adaptations reflétant la flexibilité de ces espaces. Ces modifications ont concerné la transformation des USI en unités COVID pour les trois hôpitaux comme dans l'exemple des adaptations faites dans trois unités de l'hôpital Mount Sinai à New York aux États-Unis pendant la première vague de la pandémie (Ariadne Labs + Mass Design group, 2020). Ces établissements ont également transformé d'autres unités disponibles telles que le service de pédiatries à Saint Pierre en USI et le service de cardiologie à Erasme. Nous pouvons constater que l'augmentation de la capacité des services d'urgences et des soins intensifs s'est basée sur une modification mineure avec composants mobiles ou une modifiabilité de l'espace sanitaire. Cependant, la création de chambres supplémentaires avec sas a semblé être un vrai défi pour deux des cas étudiés. Une interprétation possible est qu'une extensibilité dépend de l'espace présent et des moyens financiers déployés.

Pour la gestion des flux pendant cette pandémie, les résultats ont montré que la plupart des adaptations se sont basées sur des modifications mineures avec composants mobiles. Ces modifications ont inclus la division des espaces en zones propre et sales, zones COVID et non-COVID en utilisant des cloisons mobiles comme les bâches et les paravents, en changeant les accès des locaux ou en les fermant en plus de l'utilisation des signalisations sur les portes, le marquage au sol, des couleurs et panneaux pour guider les patients et le personnel...

De plus en se basant sur des structures temporaires, les hôpitaux ont utilisé des tentes et des conteneurs dans le parking et devant les urgences pour l'accueil, le dépistage et le tri et l'orientation des patients. Nous pouvons donc dire que pour assurer la sécurité des usagers de ces deux espaces, les hôpitaux Saint-Pierre et Erasme ont compté sur l'extensibilité des espaces dans ces deux contextes. En effet, ceci a été possible à travers la création de nouvelles structures devant l'hôpital pour le tri des patients avec des boxes et des tentes démontables à l'hôpital Saint-Pierre.

Le quatrième aspect lié aux adaptations est celui des matériaux utilisés. La pandémie a imposé un changement des matériaux utilisés dans les deux services de l'hôpital Erasme. Ces matériaux avaient l'avantage d'être

facilement lavables ou désinfectés (tableau 14). Cette catégorie fait partie de la modifiabilité de cet espace. Ceci a impliqué des modifications mineures avec composants mobiles. A l'hôpital Saint-Pierre, l'utilisation de matériaux faciles à laver et désinfecter a été une nécessité dans la construction des boxes de tri pour diminuer les risques de propagation du virus. C'est précisément l'extensibilité de cet espace qui a rendu possible ce genre d'adaptation qui a été perçue utile par les médecins des urgences.

Comme les résultats l'ont généralement indiqué, l'hôpital Erasme a compté sur sa convertibilité (Pati et al., 2008) pour faire une modification majeure pendant cette crise alors que cela n'a pas été possible dans les deux autres cas. Rappelons que les deux autres hôpitaux sont des hôpitaux publics et plutôt réduits en termes d'espace et ne disposent pas toujours de locaux ventilés. Ces facteurs ont probablement joué un rôle dans le choix et la mise en oeuvre des adaptations. Par exemple, dans cet hôpital privé marqué par une plus grande superficie et disposant de locaux pressurisés, il a été possible d'inverser la ventilation dans certaines unités pour mettre en dépression. Les études de cas ont montré que les services des urgences et des unités de soins critiques qui sont des services de première ligne pendant la crise ont dû faire face à cette pandémie sans pouvoir compter sur les états initiaux de ces hôpitaux. Cela confirme que la crise a contribué à la mutation rapide, temporaire, et surtout dynamique en temps de crise. Plusieurs participants à cette étude ont affirmé que ces adaptations ont été nécessaires et utiles dans la plupart des cas.

Ces adaptations peuvent être interprétées comme suit. En termes des besoins d'espace et pour mieux gérer le flux des patients et leur fournir les soins nécessaires, ces hôpitaux ont compté sur leur polyvalence et modifiabilité mais moins sur leur extensibilité. En termes d'augmentation des lits pour faire face à un nombre imprévisible des cas COVID, ces hôpitaux ont essentiellement fait ces adaptations grâce à leur modifiabilité, leur convertibilité mais encore moins leur extensibilité. En ce qui concerne la gestion des flux, un problème majeur aux urgences, en particulier, la modifiabilité de ces espaces n'a rendu possible que certains genres d'adaptations comme la création de zones propres et sales séparées par des structures légères et mobiles...etc. Ces adaptations ont été faites pour répondre à des besoins qui ont été clairement exprimés par le cadre médical et les architectes dans ce contexte en lien avec des « besoins d'urgence spécifiques » tels que des zones pour un triage approprié des patients, des chambres d'isolement et des salles avec une ventilation adéquate (World Health Organisation, 2020). Ces besoins concernent des espaces adéquats pour la performance de toutes les étapes nécessaires pour l'accueil, l'orientation et la prise en charge des patients COVID ou non COVID.

Néanmoins, le manque de flexibilité de cet espace a empêché ou rendu difficile des modifications plus importantes. L'extensibilité des espaces existants a permis la création d'autres structures en dehors de l'hôpital pour faciliter le tri des patients avec des boxes et des tentes démontables comme à Saint-Pierre ou la construction d'un nouvel accueil à l'extérieur de l'hôpital avec des modulaires et des tentes comme à Erasme. Cela peut nous mener à reconsidérer l'importance de l'échelle des espaces consacrés aux services de premier front comme les urgences et les soins intensifs. Ces modifications soulignent également l'importance de l'espace extérieur disponible au sein de l'hôpital pouvant contribuer à la maximisation de sa flexibilité. Pour les matériaux favorisés en temps de pandémies, ce genre d'adaptation a semblé être la moins utilisée et elle a été dépendante de deux conditions principales de flexibilité qui sont la modifiabilité et l'extensibilité. En revanche, c'est la convertibilité qui a semblé favoriser une adaptation au niveau de la ventilation vu que celle-ci touche l'infrastructure de l'hôpital.

Ces résultats montrant des adaptations imposées par la crise confirment le lien entre l'espace hospitalier et les maladies ou pandémie (Fezi, 2020). Ils révèlent que des stratégies médicales de lutte contre cette pandémie ne peuvent pas être réalisées sans une intervention architecturale et une adaptation appropriée de l'espace hospitalier. Néanmoins, ces adaptations dépendent de plusieurs facteurs y compris la flexibilité de l'espace existant.

Ces résultats ont également été validés par un expert spécialisé en architecture hospitalière confirmant les mêmes problèmes, besoins, et nature des adaptations en plus des défis durant leur mise oeuvre.

## CONCLUSION

Au moment où le monde entier a été confronté à une crise sanitaire sans précédent et au moment où cette crise du COVID-19 a été proclamée comme pandémie par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2020), a propulsé à l'avant-scène la question de préparation de nos hôpitaux à la lutte contre la propagation de cette maladie. De même, cette crise a incité plusieurs parties prenantes y compris le cadre médical et les architectes à repenser à la conception des hôpitaux et aux adaptations nécessaires pour une gestion optimisée de cette crise. La présente étude se fixait pour objectif de mieux comprendre les problèmes et besoins du personnel médical en tant qu'usagers de l'espace hospitalier. Il était également important d'explorer les types d'adaptations qu'a imposé la pandémie du COVID-19 à ces bâtiments hospitaliers.

Nous pouvons voir à partir des résultats de cette étude que la crise du COVID-19 au milieu hospitalier a mis en lumière des problèmes majeurs compliquant le travail des usagers de cet espace pendant la crise. Cette pandémie a aussi forcé la mutation de ces espaces en un temps record en adoptant essentiellement des stratégies de lutte contre la propagation de la maladie et d'optimisation des conditions de travail du personnel de santé dans ces espaces.

Cette étude a réussi à déterminer les besoins réels qui ont émergé à cause de cette crise des points de vue du staff médical et des architectes. Il s'est avéré que ces besoins ont été provoqués par la nature des structures des bâtiments hospitaliers mêmes et la nature de la pandémie en elle-même. Les résultats ont essentiellement prouvé que ces espaces n'étaient pas suffisamment préparés à de telles pandémies en termes de capacité, organisation et caractéristiques incluant les matériaux et la ventilation. Les besoins et adaptations dans ces trois contextes n'ont pas seulement varié en fonction de l'espace et des activités de chaque service mais également des facteurs de temps, de moyens et de la stratégie de gestion dans chaque hôpital. Rappelons que ces facteurs sont également liés à des défis majeurs de capacité et d'organisation dans l'espace.

Dans le cas de ces hôpitaux, la mutation généralement provisoire des structures existantes a été une réalité. Alors que ces adaptations ont varié d'un contexte à un autre, plusieurs aspects communs nous incitent à conclure que les adaptations dépendent particulièrement de la flexibilité de l'espace même, une caractéristique essentielle de l'espace hospitalier que la recherche architecturale doit mesurer, évaluer et optimiser.

Les recherches en architecture avant et après la crise du COVID ont fourni un cadre de recherche approprié pour l'étude des questions de recherche de ce travail. Ce cadre s'est avéré utile pour répondre aux trois questions de recherche abordées dans cette étude. Les avis et les préoccupations des usagers de l'espace hospitalier, ainsi que les architectes qui s'intéressent de très près à l'hôpital en plus des observations et de la documentation ont tous servi à atteindre l'objectif principal de ces études de cas dans le contexte belge. En effet, la démarche méthodologique adoptée dans cette étude avait l'avantage de fournir des informations qui ont permis de comprendre même partiellement la situation bruxelloise en rassemblant les perspectives des médecins, infirmiers et architectes.

Malgré les limites de la méthode qualitative en termes d'impossibilité de généraliser les résultats atteints à d'autres cas, la micro-analyse de chaque type de données, la triangulation des sources d'informations et des méthodes utilisées ont aidé à fournir des réponses claires et assez complètes aux questions de recherche dans cette étude. Ces résultats ont permis d'exposer un certain nombre de problèmes affrontés dans les espaces hospitaliers existants ainsi que les adaptations faites pour gérer la crise. L'analyse qualitative basée sur un cadre théorique dense a été particulièrement utile dans l'étude des adaptations sous cette crise. La combinaison de plusieurs sources de données a aidé à relier les points avec les enjeux des adaptations imposées par cette crise ainsi que leur faisabilité. Cette analyse a révélé un bon nombre de besoins utiles à la conception et l'optimisation des espaces actuels pour redéfinir l'hôpital de demain. Cet hôpital est censé être mieux adapté aux crises de cette envergure.

Ces études de cas dans le contexte bruxellois ont réussi à prouver l'utilité de l'investigation de cette expérience forcée de la perspective du cadre médical et des architectes. Il est clair que la prise en compte de l'avis des architectes a été d'une valeur ajoutée puisque que cela a permis de recueillir des avis souvent identiques ou complémentaires à propos des problèmes au sein de l'espace hospitalier, sa mutation forcée et les contraintes auxquelles tout le monde a dû faire face.

L'une des leçons tirées par cette crise est qu'il faudra élaborer un cadre commun entre le personnel de santé et les architectes autour des mesures à entreprendre pour la gestion de la pandémie. Après les réponses d'urgence, il est grand temps de comprendre cette nouvelle réalité pour mieux planifier les conditions de résilience réelles des structures hospitalières. Il est également à retenir que même la mutation de ces structures, bien que nécessaire, doit être adaptée au contexte même de l'hôpital en question en termes d'espace, de structure et d'organisation existante du bâtiment hospitalier. Les besoins émergents du staff médical qui a participé à cette étude, ont essentiellement dépendu de la nature de la pandémie même et des pratiques médicales nécessaires pour combattre le virus. L'une des leçons tirées concerne la nécessité de prendre en compte ces besoins et de les convertir en des caractéristiques de conception de l'espace hospitalier de demain.

Une autre leçon tirée concerne la collaboration nécessaire entre les usagers de l'espace sanitaire et l'architecte dans la reconceptualisation de ces bâtiments. D'autres parties prenantes devraient probablement être mieux informées des enjeux de ces stratégies de résilience architecturale. Cela peut nous inciter à repenser aux décisions liées au choix de l'emplacement des hôpitaux, leurs accès et leur organisation intérieure et extérieure. Des terrains plus spacieux et des moyens financiers plus importants devraient également être dédiés à ces hôpitaux.

D'une perspective de recherche, la recherche future doit également tenir en compte la perspective des patients et de leurs familles en tant qu'usagers du même espace pendant ce genre de crises. Leurs retours d'expériences peuvent enrichir notre vision des situations aussi compliquées tant par leur ampleur que par leur multi-dimensionnalité. Cela confirme l'importance de l'interdisciplinarité dans l'étude de ces questions de recherche. Les études à venir devraient probablement varier les méthodologies utilisées et combiner les paradigmes qualitatifs et quantitatifs pour mieux comprendre ces phénomènes étudiés.

Au niveau de la conception de l'espace hospitalier, nous pouvons suggérer un certain nombre d'adaptations à long terme. Ces nouvelles caractéristiques pourraient servir à reconfigurer l'espace hospitalier existant ou à créer des nouveaux projets. Ces caractéristiques peuvent être résumés comme suit :

- Plus d'espace aux urgences et aux USI ;
- Espaces séparés ou séparables avec sas tampon pour faciliter le déplacement et le changement des EPI du staff médical entre les deux espaces en toute sécurité ;
- L'espace USI doit favoriser une meilleure visibilité des patients ;
- des chambres plus spacieuses pour les patients ;
- un accès facile aux stocks et équipements ;
- Un espace d'urgences favorisant la circulation fluide et permettant un contrôle des flux des patients par des couloirs séparés (un sens de circulation) ;
- Création des espaces séparés pour les médecins et les patients ;
- des matériaux facilement nettoyyables et désinfectées ;
- des structures faciles et rapides à monter.

Ce qui est à retenir à la fin de cette étude est l'importance de continuer la recherche sur ces questions afin de concevoir des hôpitaux mieux préparés à des crises d'une telle envergure et de permettre le bon déroulement des soins donnés pour sauver des vies humaines. C'est de cette manière que l'on peut renforcer le rôle de l'architecture et de l'architecte dans le domaine médical.

## Référence

- [1]. Allegaert, P. (2004). L'architecture hospitalière en Belgique. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Monumenten en Landschappen.
- [2]. Ariadne Labs + Mass Design Group. (2020). The Role of Architecture in Fighting COVID-19 : Redesigning Hospital Spaces on the Fly to Protect Healthcare Workers.
- [3]. Ashley, R. (2020). Changes in the way we live and value urban spaces. Journal of Delta Urbanism, 1(1).
- [4]. ASSAR ARCHITECTS. (2021). Concevoir un hôpital post-Covid. Retour d'expérience et réflexions pour l'avenir. Architecture hospitalière, pp. 20-23
- [5]. Booker, C. (2020, 10 mai). How the pandemic is reshaping hospital architecture and design. PBS NewsHour. <https://www.pbs.org/newshour/show/how-the-pandemic-is-reshaping-hospital-architecture-and-design>
- [6]. Bouhon, F., Jousten, A., Miny, X., & Slautsky, E. (2020). L'État belge face à la pandémie de COVID-19: Esquisse d'un régime d'exception. Courrier hebdomadaire du CRISP, 2446(1), 5-56. <https://doi.org/10.3917/cris.2446.0005>
- [7]. Brambilla, A., Sun, T., Elshazly, W., Ghazy, A., Barach, P., Lindahl, G., & Capolongo, S. (2021). Flexibility during the COVID-19 Pandemic Response : Healthcare Facility Assessment Tools for Resilient Evaluation. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(21), 11478. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111478>
- [8]. Bolcina, J. (2020, mars 26). L'hôpital Erasme sur le pied de guerre avant l'afflux redouté. 7sur7.be. <https://www.7sur7.be/sante/lhopital-erasme-sur-le-pied-de-guerre-avant-l-afflux-redoute~acae9a45/>
- [9]. Blanchet, A., & Gotman, A. (2007). Série « L'enquête et ses méthodes »: L'entretien (2e éd. refondue). Paris : Armand Colin. Mesure et évaluation en éducation, 33(2), 127. <https://doi.org/10.7202/1024898ar>
- [10]. Buset, S. (2017). Architecture hospitalière: du modèle historique à l'hôpital de demain [Mémoire non publié]. Université Libre de Bruxelles.
- [11]. BX1 (Réalisateur). (2020, décembre 23). Documentaire: Le Covid-19 au CHU Saint-Pierre. <https://www.youtube.com/watch?v=LYy-Np4ypaY>
- [12]. Carballo, S., Agoritisas, T., Darbellay Farhoumand, P., Grosgrurin, O., Marti, C., Nendaz, M., Serratrice, J., Stirnemann, J., & Reny, J.-L. (2020). COVID-19 : Réorganisation sous toutes ses formes dans un hôpital universitaire. Forum Médical Suisse, 20(2730), 390-395. <https://doi.org/10.4414/fms.2020.08551>
- [13]. Carter, N., Bryant-Lukosius, D., DiCenso, A., Blythe, J., & Neville, A. J. (2014). The use of triangulation in qualitative research. Oncology Nursing Forum, 41(5), 545–547. <https://doi.org/10.1188/14.ONF.545-547>
- [14]. CHU Saint-Pierre (Réalisateur). (2020, mars 26). COVID-19 : Création du poste médical avancé de tri aux Urgences du CHU Saint-Pierre. [Vidéo] <https://www.youtube.com/watch?v=HmolejANCw>
- [15]. COVID-19: Les hôpitaux belges sont saturés, le personnel soignant est à bout. (2020, octobre 24). euronews. <https://fr.euronews.com/2020/10/24/COVID-19-les-hopitaux-belges-sont-satures-le-personnel-soignant-est-a-bout>
- [16]. COVID-19 (2022). COVID-19 aux services des urgences : «Cela ressemblait à de la médecine de guerre» à l'adresse <http://www.chirecpro.be/fr/videos/ovid-19-aux-services-des-urgences-du-chirec-cela-ressemblait-a-de-la-medecine-de-guerre>
- [17]. CHIREC Pro. (juin 2020). Consulté 3 juin 2022, à l'adresse <http://www.chirecpro.be/fr/videos/ovid-19-aux-services-des-urgences-du-chirec-cela-ressemblait-a-de-la-medecine-de-guerre>
- [18]. D'Alessandro, D., Appolloni, L., & Capasso, L. (2017). Public health and urban planning: A powerful alliance to be enhanced in Italy. Annali Di Igiene Medicina Preventiva e Di Comunità, 5, 453-463. <https://doi.org/10.7416/ai.2017.2177>
- [19]. Decroly, M. (2021, 26 février). Les dispositifs d'accueil aux urgences pour une meilleure prise en charge du patient COVID avéré ou suspect (triage + tests mobiles) [Présentation PowerPoint]. AMUB.
- [20]. Delvaux, B. (2020) « Il ne suffira pas de couper des têtes, il faudra régénérer tout un système », 4 avril 2020. <https://www.lesoir.be/292003/article/2020-04-03/il-ne-suffira-pas-de-couper-des-tetes-il-faudra-regenerer-tout-un-systeme/>
- [21]. Fallon, C., Thiry, A., & Brunet, S. (2020). Planification d'urgence et gestion de crise sanitaire. La Belgique face à la pandémie de COVID-19. Courrier hebdomadaire du CRISP, 2453-2454(8-9), 5-68. <https://doi.org/10.3917/cris.2453.0005>

- [22]. Fezi, B. A. (2020). Health engaged architecture in the context of COVID-19. *Journal of Green Building*, 15(2), 185-212. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.15.2.185>
- [23]. Franceinfo. (2020, 31 janvier). Comment la Chine peut-elle construire deux hôpitaux en une dizaine de jours seulement ? Franceinfo. [https://www.franceinfo.fr/sante/maladie/coronavirus/comment-la-chine-peut-elle-construire-deux-hopitaux-en-une-dizaine-de-jours-seulement\\_3805687.html](https://www.franceinfo.fr/sante/maladie/coronavirus/comment-la-chine-peut-elle-construire-deux-hopitaux-en-une-dizaine-de-jours-seulement_3805687.html)
- [24]. Ganske, I. (2012). A Different Angle: Physician and Architect. Dans Urman, R. D., & Ehrenfeld, J. M. (dirs.), *Physicians' Pathways to Non-Traditional Careers and Leadership Opportunities*. (pp. 263-271) Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0551-1>
- [25]. Genon, M. H., (2007). Les Marolles. CCN
- [26]. Grandvoinet, P. (2010). Histoire des sanatoriums en France (1915-1945). Une architecture en quête de rendement thérapeutique [Thèse de doctorat, Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines (UVSQ) ; Université de Genève]. Hal. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01935993>
- [27]. Habchi, K. (2011). Vers une valorisation du territoire de Moselle et Madon par les activités physiques de pleine nature [Mémoire non publié]. Université de Nancy.
- [28]. Harrouk, C. (2020). Alternative Healthcare Facilities: Architects Mobilize their Creativity in Fight against COVID-19. *ArchDaily*. <https://www.archdaily.com/937840/alternative-healthcare-facilities-architects-mobilize-their-creativity-in-fight-against-covid-19>
- [29]. Hercules, W. J., Anderson, D. C., & Sansom, M. (2020). Architecture—A Critical Ingredient of Pandemic Medicine : An Open Letter to Policy Makers. *HERD : Health Environments Research & Design Journal*, 13(3), 247-252. <https://doi.org/10.1177/1937586720928432>
- [30]. [https://www.amub-ulg.be/e-learning/12/list?fbclid=IwAR3vN7E8te7S5keWlBn9faCkpmD2BLffAmzGifwenNK4eP\\_TfLy9nYgFjCk](https://www.amub-ulg.be/e-learning/12/list?fbclid=IwAR3vN7E8te7S5keWlBn9faCkpmD2BLffAmzGifwenNK4eP_TfLy9nYgFjCk)
- [31]. L'hôpital Erasme sur le pied de guerre avant l'afflux redouté | Santé | 7sur7.be. (2020). AFP. <https://www.7sur7.be/sante/lhopital-erasme-sur-le-pied-de-guerre-avant-l-afflux-redoute~acae9a45/>
- [32]. Langevin, F. (2018). Architecture et Ingénierie à L'hôpital. Le Défi de L'avenir (p. 352p). Presses de l'EHESP.
- [33]. Laperrière, E. (s. d.). Hôpitaux : Penser l'espace pour contrer les épidémies. *Ordre des architectes du Québec*. Consulté 15 avril 2022, à l'adresse <https://www.oaq.com/article-magazine/hopitaux-penser-l-espace-pour-contrer-les-epidemies/>
- [34]. Lejeune, C. (2019). Manuel d'analyse qualitative. De Boeck Supérieur.
- [35]. Lukasik, M., & Porębska, A. (2022). Responsiveness and Adaptability of Healthcare Facilities in Emergency Scenarios : COVID-19 Experience. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 675. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020675>
- [36]. Magioglou, T. (2008). L'entretien non directif comme modèle générique d'interactions [\*] | Cairn.info. <https://www.cairn.info/revue-les-cahiers-internationaux-de-psychologie-sociale-2008-2-page-51.htm?fbclid=IwAR0SuM7tXbjzK8f6T7x5NvgH9WjHawM8lRro1ltEircjywbTQE55kyRYiA>
- [37]. Megahed, N. A., & Ghoneim, E. M. (2020). Antivirus-built environment : Lessons learned from COVID-19 pandemic. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102350. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102350>
- [38]. Mortic Z. (2020, avril 21). 5 Insights as Architects Lead Hospital Conversion for COVID-19 Response. *Redshift EN*. <https://redshift.autodesk.com/hospital-conversion/>
- [39]. Nouvelobs. Par L'Obs avec AFP. Publié le 4 février 2020 à 12h35. La Belgique touchée à son tour par le coronavirus [Internet]. [www.nouvelobs.com/coronavirus-de-wuhan/20200204.OBS24352/la-belgique-touchee-a-son-tour-par-le-coronavirus.html](http://www.nouvelobs.com/coronavirus-de-wuhan/20200204.OBS24352/la-belgique-touchee-a-son-tour-par-le-coronavirus.html)
- [40]. Organisation Mondiale de la Santé. (2020). Chronologie de l'action de l'OMS face à la COVID-19. <https://www.who.int/fr/news/item/29-06-2020-COVIDtimeline>
- [41]. Pisano, C. (2020). Strategies for POST-COVID Cities: An Insight to Paris En Commun and Milano 2020. *Sustainability*, 12(15), 5883. <https://doi.org/10.3390/su12155883>
- [42]. Quintin, J.-J. (s. d.). Analyse de données qualitatives Outils de production de données qualitatives et méthode d'analyse. 101.
- [43]. Ramsay santé pôle IDF Ouest. (2020). Les établissements du pôle Sud Aquitaine du groupe Ramsay Santé mobilisés face à la reprise épidémique Covid-19. <https://presse.ramsaygds.fr/mobilerelase.aspx?ID=206706>

- [44]. RTBF. (2020). Le 17 mars la Belgique se préparait à entrer en confinement : Que retenir de ce mois qui a déjà marqué l'histoire de notre pays? (s. d.). Consulté 1 août 2022, à l'adresse <https://www.rtbf.be/article/le-17-mars-la-belgique-se-preparait-a-entrer-en-confinement-que-retenir-de-ce-mois-qui-a-deja-marque-l-histoire-de-notre-pays-10483498>
- [45]. RTBF. (2020, avril 2). Coronavirus : Les hôpitaux du réseau IRIS approchent de la saturation à Bruxelles. RTBF. <https://www.rtbf.be/article/coronavirus-les-hopitaux-du-reseau-iris-approchent-de-la-saturation-a-bruxelles-10474280>
- [46]. Sawadogo, H. P. (2020). L'approche qualitative et ses principales stratégies d'enquête. <https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/projetthese/chapter/methodes-qualitatives-de-recherche/>
- [47]. Schiltz, L. (2006). Grilles d'analyse de contenu basées sur l'approche phénoménologico-structurale. Bulletin de la Société des Sciences Médicales du Grand Duché de Luxembourg, 2, 265-280.
- [48]. Setola, N., Naldi, E., Arnetoli, M. V., Marzi, L., & Bologna, R. (2021). Hospital responses to COVID-19: Evidence from case studies to support future healthcare design research. *Facilities*, 40(1/2), 131-145. <https://doi.org/10.1108/F-03-2021-0023>
- [49]. Trenchant, F. (2020). Aménagements COVID. Erasme.
- [50]. The American Institute of Architects. (2020a, 6 avril). COVID-19 Alternative care sites: Addressing capacity, safety, & risk challenges for our nation's hospitals during a public health pandemic response. [https://content.aia.org/sites/default/files/2020-04/KC20\\_AAHC-19\\_Alt-Care-Sites-Whitepaper\\_sm\\_v03\\_FINAL.pdf](https://content.aia.org/sites/default/files/2020-04/KC20_AAHC-19_Alt-Care-Sites-Whitepaper_sm_v03_FINAL.pdf)
- [51]. The American Institute of Architects. (2020b, 22 juin). COVID-19 Frontline Perspective : Design considerations to reduce risk and support patients and providers in facilities for COVID-19 care. [https://content.aia.org/sites/default/files/2020-07/AIA\\_COVID\\_Frontline\\_Perspective.pdf](https://content.aia.org/sites/default/files/2020-07/AIA_COVID_Frontline_Perspective.pdf)
- [52]. Van de Voorde, C., Lefèvre, M., Mistiaen, P., Detollenaere, J., Kohn, L., & Van den Heede, K. (2020). Gestion de la capacité hospitalière en Belgique durant la première vague de la pandémie de COVID-19. Health Services Research (HSR). Bruxelles. Centre Fédéral d'Expertise des Soins de Santé (KCE). 2020. KCE Reports 335B. D/2020/10.273/33. Consulté 1 août 2022, à l'adresse <https://www.absym-bvas.be/kce/gestion-de-la-capacite-hospitaliere-en-belgique-durant-la-premiere-vague-de-la-pandemie-de-covid-19>.
- [53]. Wagenaar, C., Mens, N., Manja, G., Niemeijer, C. E. A., Guthknecht, T., Lacanna, G., & Luscuere, P. (2018). *Hospitals : a design manual*. Basel: Birkhäuser.
- [54]. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2020). Strengthening the health systems response to COVID-19: technical guidance #2: creating surge capacity for acute and intensive care, 6 April 2020. World Health Organization. Regional Office for Europe.
- [55]. WTA. (s. d.). EQF. WTA. Consulté 17 juin 2022, à l'adresse <https://wtadesignstudio.com/eqf/>
- [56]. Yuan, J. (2020, 4 avril). Inside the Javits Center : New York's militarized, makeshift hospital. Washington Post. [https://www.washingtonpost.com/national/javits-center-coronavirus-field-hospital/2020/04/04/50bdbf32-75b2-11ea-87da-77a8136c1a6d\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/national/javits-center-coronavirus-field-hospital/2020/04/04/50bdbf32-75b2-11ea-87da-77a8136c1a6d_story.html)

## Comparaison statistique entre les pluviométries mesurées et celles simulées à partir des RCMs de CORDEX : cas d'étude du Sud-Ouest du Mali

Toure Adama<sup>1</sup>, Diancoumba Oumou<sup>2</sup>, Keita Souleymane<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderhamane Baba TOURE (ENI-ABT), Mali,

<sup>2</sup> Ecole Normale Supérieure de Bamako (ENSUP), Département Sciences de la Vie et de la Terre (DER-SVT), Bamako, Mali;

### Résumé

*Le Mali, situé en Afrique de l'Ouest, plus précisément dans le sabel, est un pays à vocation agro-sylvo-pastoral. Son économie basée principalement sur ces secteurs de base reste très tributaire du climat. La recrudescence des effets des changements climatiques au Mali s'explique par la baisse de la pluviométrie et l'élévation de la température, par conséquent la baisse de la production du secteur agricole. C'est pourquoi il est nécessaire de mener des études afin de maîtriser les variations climatiques actuelles et de faire des projections pour permettre aux décideurs de mettre en place des mesures d'adaptation anticipatives. L'objectif principal de l'étude est de mettre à la disposition des utilisateurs des données climatiques de projection pour des besoins de planification. Beaucoup de modèles de circulation atmosphérique globaux sont à cet effet développés pour aider les pays dans ce sens-là. Ainsi, à partir des résultats du projet CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), il est possible de réduire les échelles des données climatiques globales et régionales à des échelles locales. Des corrélations entre les résultats de CORDEX et données climatiques observées permettent de choisir des GCMs appropriés pour le Mali.*

*Les méthodes statistiques basées sur le programme R et le logiciel Excel sont utilisées pour traiter les données de cette étude. Sur 5 GCMs sélectionnés et 6 stations météorologiques à l'échelle du Mali, deux ont donné des résultats satisfaisants en l'occurrence MPI-M-MPI-ESM-LR et ICHEC-EC-EARTH qui avaient été tous les deux tournés avec le modèle climatique régional (RCM) RCA4.*

**Mots clés :** Changement climatique, Pluie, CORDEX, GCMs, RCM, Mali.

## Comparison between observed and simulated rainfall from RCMs of CORDEX: case study of the South-west of Mali

### Abstract:

*Mali, situated in West Africa, more precisely in the Sahel, is an agro-sylvo-pastoral country. Its economy, mainly based on these basic sectors, remains dependent of climate. The recrudescence of climate change effects in Mali explains by the reduction of the rainfall and the increase of the temperature production of agriculture sector, consequently the reducing of the production of agriculture sector. That why it is necessary to lead studies in order to understand the actual climate variation and to make the projections permitting the decision makers to take anticipative adaptation measures. The main objective of the study is to make available the projection climate data to the users for the planning purpose. Many global climate models are developed and available to help the countries realizing that. Therefore, from the outputs of the project of CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), it is possible to downscale global climate models (GCMs) to regional climate models (RCMs). The correlation between the CORDEX outputs and observed climate data allow choosing the appropriated GCMs for the Mali.*

*The statistical methods based on the R programming and Excel software are used to treat the data of this study. Form five GCMs and six meteorological stations chosen, based on the data availability, throughout in Mali, two GCMs were more accurate than others, in the circumstances MPI-M-MPI-ESM-LR and ICHEC-EC-EARTH respectively; both were downscaled using the regional climate model (RCM) RCA4.*

**Key Words :** Climate change, Rainfall, CORDEX, GCMs, RCM, Mali.

<sup>1</sup> Corresponding author: [adamamca@yahoo.fr](mailto:adamamca@yahoo.fr)

## INTRODUCTION

De nos jours, les effets des changements climatiques inquiètent et affectent directement ou indirectement tous les pays de l'Afrique de l'ouest. L'acuité de ces conséquences néfastes varie selon la zone géographique et la résilience d'un pays. Par exemple, les pays situés dans la bande sahélo saharienne sont beaucoup plus exposés à la baisse de la pluviométrie et à l'augmentation de la température, donc à la diminution de la productivité agro sylvo pastoral. Le Mali faisant partie de cette bande est bien concerné par ces impacts climatiques. L'économie du Mali étant exclusivement basée sur le secteur de base, le pays est par conséquent tributaire du climat.

Les changements climatiques affectent tous les secteurs du développement au Mali (Kandji et al. 2006, Toure et al. 2016, 2017, Communication Nationale 2010, Diancoumba, 2020). Presque toutes les régions du Mali sont dépendantes des pluies saisonnières. Une vraie stratégie de plan d'irrigation n'est toujours pas mise en œuvre pour utiliser les cours d'eau de façon optimale. Il est donc nécessaire et urgent pour le Mali de mener des études plus fines afin de maîtriser les variations climatiques actuelles et de faire des projections pour permettre aux décideurs de mettre en place des mesures d'adaptation anticipatives.

Des modèles climatiques globaux (GCM) et régionaux (RCM) sont développés à cet effet permettant aux pays de faire des simulations avec les données climatiques observées. Ces GCMs, développés sur la base du rapport 5 de GIEC, permettent sans aucun doute de dégager les tendances climatiques des régions du monde. Ainsi, il est projeté que les pays du sahel seront confrontés à des réductions de la pluviométrie et une augmentation de la température. Le projet CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), reposé sur la réduction de l'échelle des données de GCM via les RCM, a facilité les études à des échelles locales.

Dans cette étude, les données de CORDEX sont comparées à des données observées de stations locales afin de choisir des GCM appropriés pour le Mali. L'objectif principal de l'étude est de mettre à la disposition des utilisateurs des données climatiques de projection pour des besoins de planification. Très peu d'études existent dans la bibliographique qui ont trait à cette étude. Cependant, Traoré et al. (2003) ont fait une étude similaire mais plutôt posée sur le rapport 4 de GIEC (IPCC, 2007), qui est obsolète à présent.

Les méthodes statistiques (coefficient de corrélation, coefficient de détermination, Nash-Sutcliffe efficience, etc.) à travers le programme R et la feuille de calcul Excel sont utilisées pour obtenir les résultats de l'étude.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le Mali se situe au cœur de l'Afrique de l'Ouest avec une superficie d'environ 1.241.000 km<sup>2</sup>. Il s'étend entre les longitudes 12 Ouest, 4 Est et les latitudes 10 – 25 Nord. Il se divise en quatre principales zones climatiques (WWAP, 2006) ;

- (i) la zone soudanienne couvrant la partie méridionale de Sikasso avec un climat de type guinéen, les précipitations sont supérieures à 1200 mm par an ;
- (ii) la zone soudano – sahélienne couvrant la zone de Bamako avec un climat de type tropical pur, les précipitations annuelles sont comprises entre 700 – 1200 mm ;
- (iii) la zone sahélienne couvrant la zone de Niolo avec un climat de type sahélien, les précipitations annuelles varient de 700 à 200 mm et ;
- (iv) la zone sub saharienne avec un climat de type sub-désertique, la pluviométrie annuelle est inférieure à 200 mm. Les températures maximales et minimales sont observées dans la zone septentrionale atteignant respectivement 45 °C et 11°C. L'altitude varie entre 24 et environ 1000 m (Figure 1).

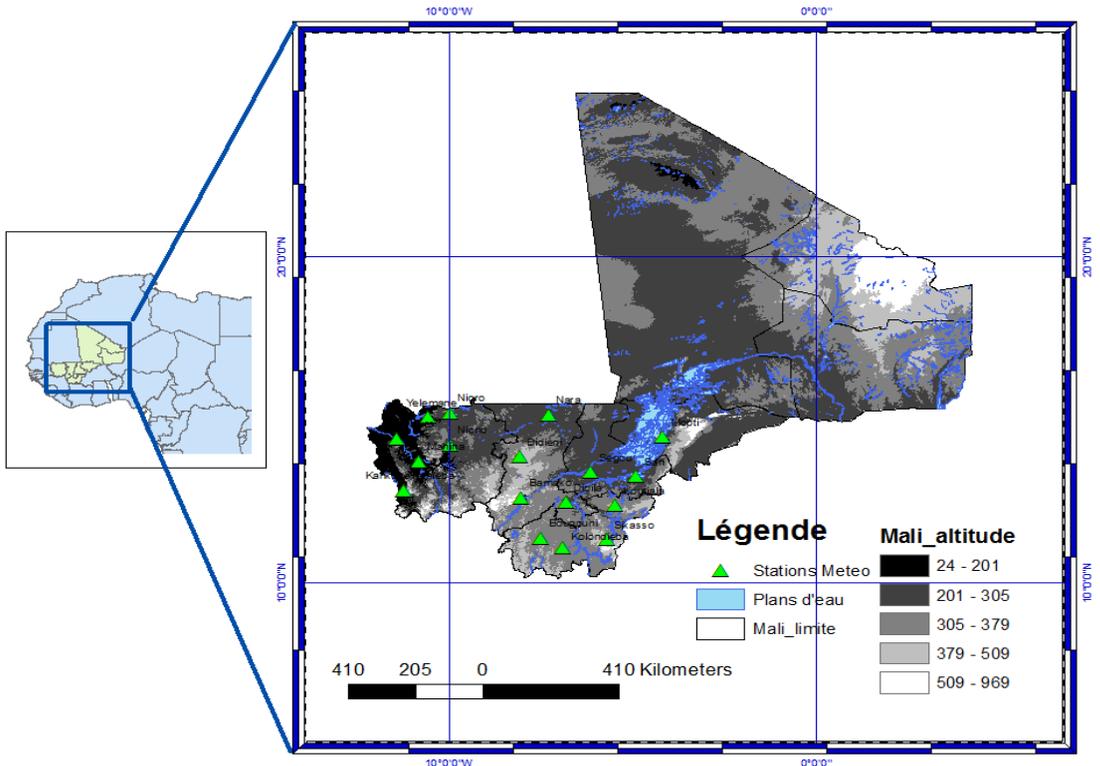


Figure 1 - Présentation de la carte du Mali.

Les données de cette étude sont essentiellement basées sur les données climatiques observées et simulées par des Global Climate Models (GSM).

Les données climatiques observées (pluie, températures max. et min.) sont fournies par Mali-météo. Ces données sont mensuelles et s'arrangent de 1950 à 2008. Elles proviennent de 6 stations météorologiques du Mali disponibles pour cette étude, qui se trouvent au centre et Sud du Mali.

Les données simulées proviennent de CORDEX, qui est un projet financé par le Programme Mondial de Recherche sur le Climat. CORDEX est une plateforme qui permet de fournir des données de projections climatiques pour faciliter les études des évaluations d'impact et d'adaptation au changement climatique (Giorgi et al. 2009), basé sur le 5<sup>ème</sup> Rapport d'Evaluation (RE5) de GIEC (Ozturk et al. 2012). Ainsi, CORDEX a divisé le monde en des domaines régionaux (Evans 2011), qui couvrent la plupart des terres. Il réduit l'échelle des GCMs à l'échelle régionale et fournit des données historiques et de projections futures du climat à une résolution meilleure, en participant à la 5<sup>ème</sup> Phase du Projet d'Intercomparaison de Model Couplé (CMIP5) (Taylor et al. 2012). Le CORDEX est focalisé sur des expériences de GCMs appliquant des scénarios d'émission basés sur des Profils de Concentration Représentatifs (RCPs). Pour la plupart des régions du monde y compris l'Afrique, les données de CORDEX fournies une large résolution de 0.44° (approximativement 50 km).

Pour cette étude, les données de 5 GCMs à savoir, CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0, ICHEC-EC-EARTH, MIROC-MIROC5, MOHC-HadGEM2-ES et MPI-M-MPI-ESM-LR, obtenues grâce à la technique de réduction dynamique de l'échelle à travers la dernière version de Rossby Centre Regional Climate Model (RCA4) développée par l'Institut Hydrologique et Météorologique Suédois (SHMI) dans le cadre de CORDEX (Samuelsson et al. 2011; Strandberg et al. 2014; Kjellström et al. 2014).

La méthodologie consistait à comparer qualitativement et quantitativement les résultats des GCMs aux données climatiques observées. La méthode qualitative est singulièrement basée sur une comparaison visuelle entre les

données climatiques observées et celles simulées, via un graphique. Alors que la méthode de comparaison quantitative se repose sur les méthodes statistiques telles que coefficient de corrélation ( $r$ ), coefficient de détermination ( $R^2$ ), coefficient de Nash-Sutcliffe (E), Erreur moyenne quadratique (RMSE). Le coefficient de corrélation était utilisé pour évaluer la performance des GCMs. Sa valeur est comprise entre -1 et 1. Ainsi, la valeur -1 explique une corrélation négative alors que la valeur 1 indique une corrélation positive, en revanche, la valeur 0 montre une absence nette de corrélation. Le coefficient de détermination est défini comme étant le carré de la valeur du coefficient de corrélation. Il évolue par conséquent dans le même sens que le coefficient de corrélation, mais la valeur -1 est exclue.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \tag{1}$$

Avec  $O$  valeurs observées et  $S$  simulées.

Le coefficient Nash-Sutcliffe (E) a été également utilisé pour évaluer l'efficacité des GCMs. La valeur de E est toujours inférieure ou égale à un. Lorsque sa valeur est égale ou proche de 1, la corrélation entre les données observées et simulées est élevée. En revanche, la valeur négative montre que la moyenne des valeurs observées prédit mieux que le model. On peut calculer les valeurs de E en utilisant l'équation 2 (Nash and Sutcliffe, 1970).

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_{obs} - P_{sim})^2}{\sum_{i=1}^N (P_{obs} - \bar{P}_{obs})^2} \tag{2}$$

Où  $P_{obs}$  correspond aux données observées et  $P_{sim}$  simulées.

Erreur des moyennes carrées (RMSE) a été dans toujours cette évaluation des GCMs. A la différence des deux premières, plus la valeur de RMSE tend vers 0 plus la corrélation entre les valeurs observées et simulées est importante.

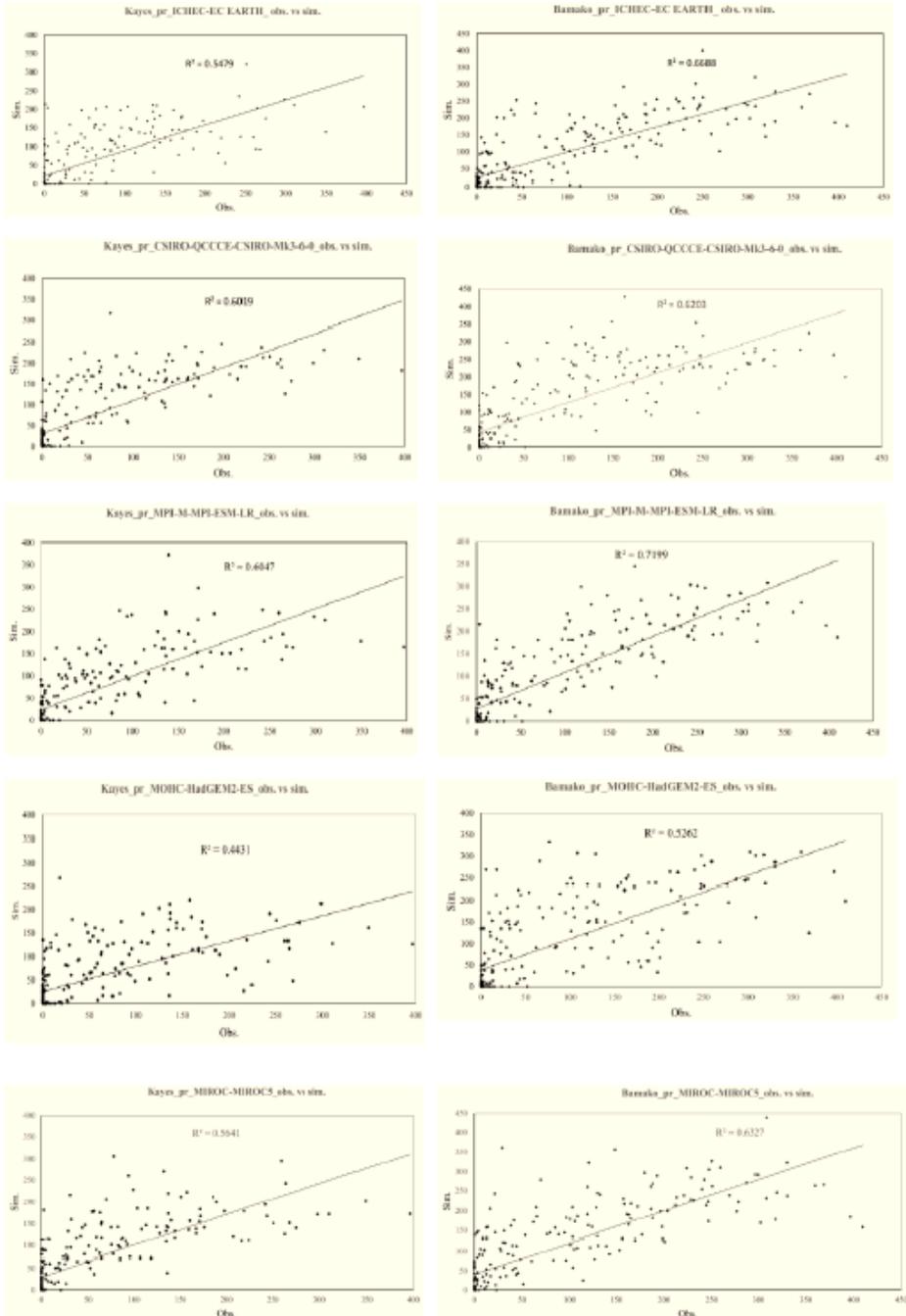
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O - S)^2}{n_{obs}}} \tag{3}$$

Avec  $n_{obs}$  nombre d'observation

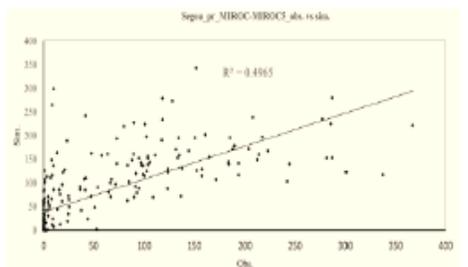
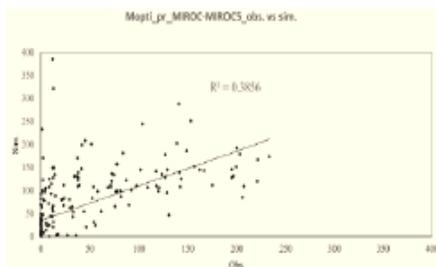
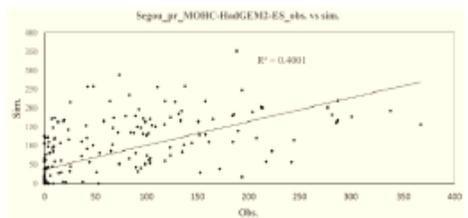
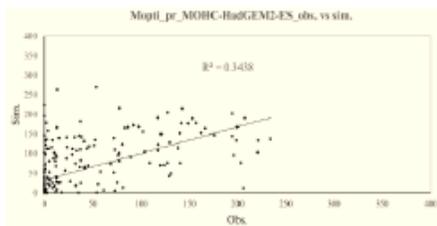
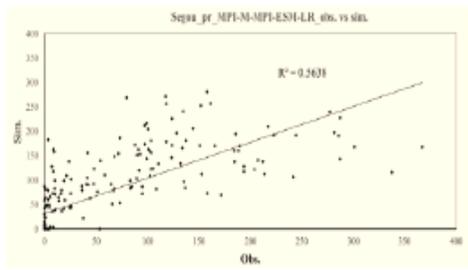
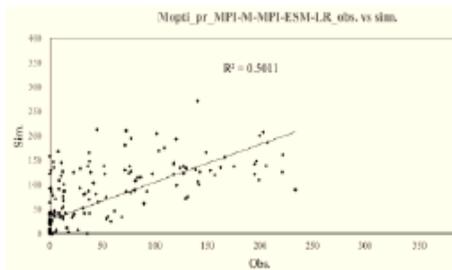
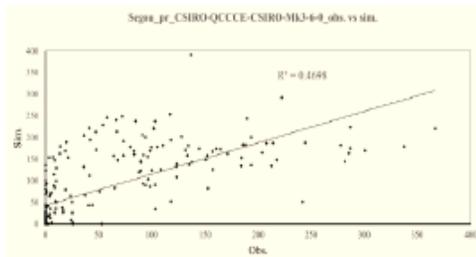
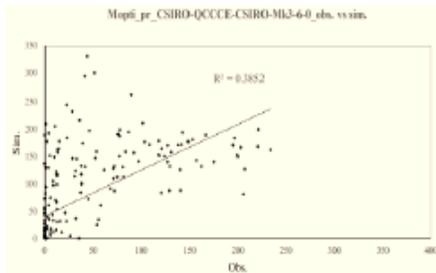
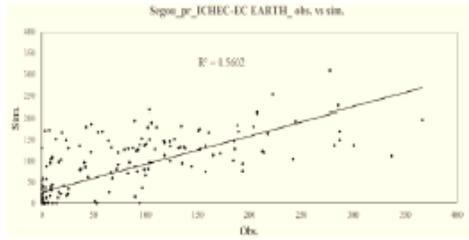
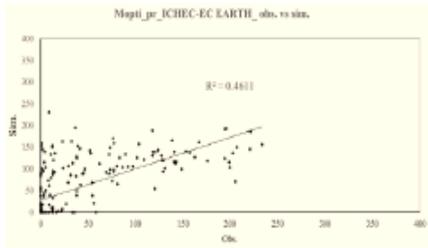
## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de cette étude sont réalisés grâce à la comparaison des données climatiques observées et celles simulées fournies par les GCMs. Trois paramètres climatiques (précipitation, températures max. et min.) ont concerné cette étude. Les résultats sont présentés comme suit. Les précipitations mensuelles observées de 1986 à 2005 sont comparées à celles de 5 GCMs pour la même période (Figure 2) comme indiqué dans la partie données et méthode, idem pour les températures max. et min. Compte tenu du nombre élevé de figures, nous nous sommes contentés de présenter seulement les précipitations à titre illustratif. En revanche, tous les résultats statistiques ont été mentionnés. Ces résultats globaux étayent que les températures observées corrèlent mieux avec les GCMs que les précipitations. Pour les précipitations, il est très clair que tous les coefficients calculés (coefficients de corrélation et détermination, Nash-Sutcliffe) affirment que les GCMs, MPI-M-MPI-ESM-LR et ICHEC-EC-EARTH donnent plus de bonne corrélation que les trois autres, avec  $R^2$  atteignant 0,72 pour la station de Bamako et le GCM MPI-M-MPI-ESM-LR (Fig. 3). Ce même constat est fait avec l'erreur moyenne quadratique, mais qui donne des valeurs élevées particulièrement pour Sikasso, ne montre, de façon générale, de relation directe entre les données observées et simulées. Par ailleurs, les régions du Sud (Bamako, Koutiala et Sikasso) sont plus corrélées selon les coefficients calculés que celles du centre.

(a)



(b)



(c)

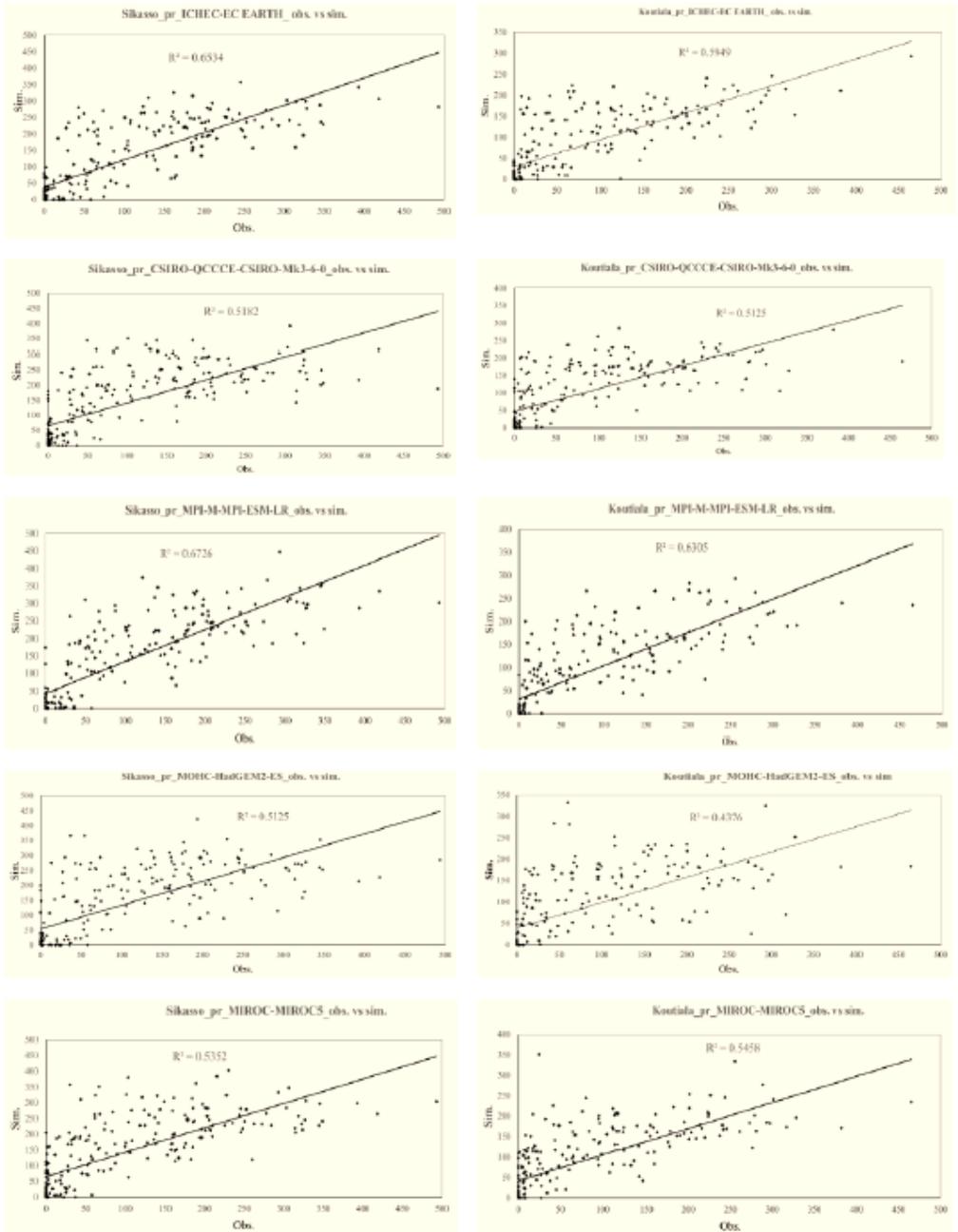


Figure 2. Comparaison des précipitations observées de 6 stations météorologiques du Mali et celles simulées de 5GCMs; a) stations Kayes et Bamako; b) stations Mopti et Ségou et; c) stations Sikasso et Koutiala.

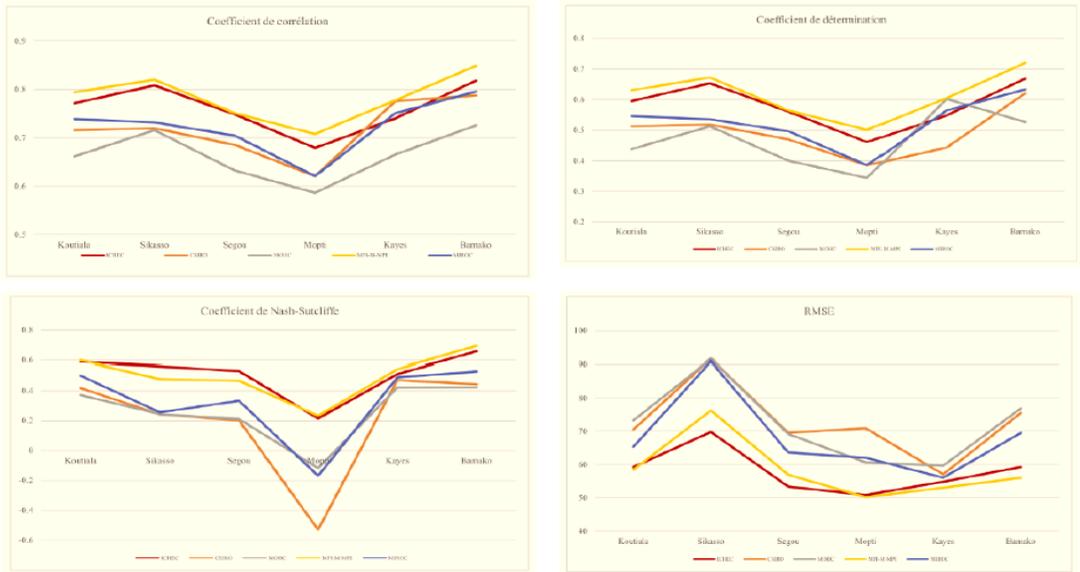


Figure 3. Comparaison des résultats statistiques des précipitations observées de 6 stations météorologiques et de 5 GCMs simulées

Les tendances des résultats statistiques des températures maximales sont presque les mêmes que pour les précipitations. On enregistre la valeur maximale de  $R^2 = 0.7$  pour la station de Sikasso avec les deux GCMs MPI-M-MPI-ESM-LR et ICHEC-EC-EARTH (Fig. 4). Globalement, les températures maximales simulent mieux que les précipitations.

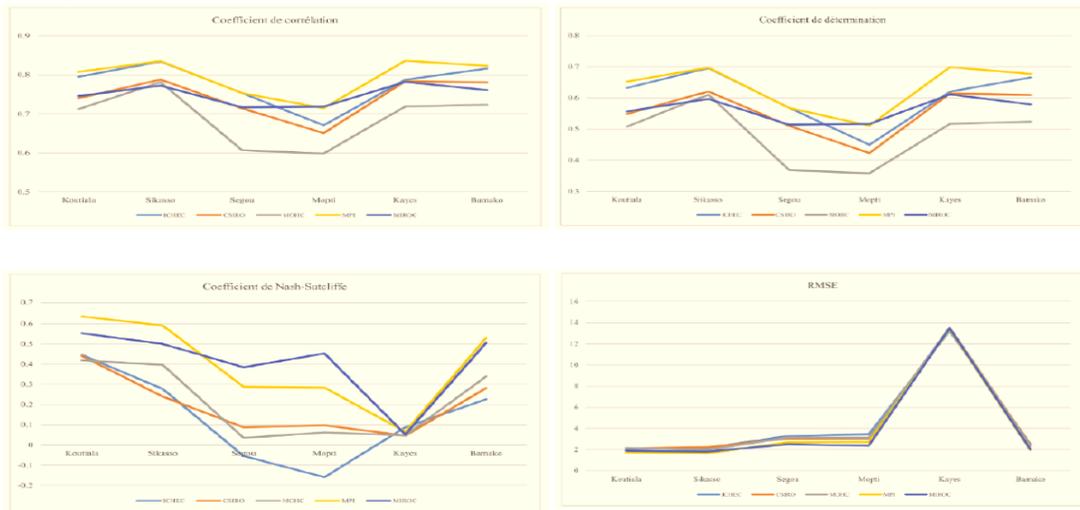


Figure 4. Comparaison des résultats statistiques des températures maximales observées de 6 stations météorologiques et de 5 GCMs simulées.

Quant aux températures minimales, la corrélation donne globalement un bon résultat soit une valeur maximale de  $R^2$  de 0,75 pour deux stations Mopti et Kayes et pour deux GCMs différents MIROC-MIROC5 et MPI-M-MPI-ESM-LR. La station de Bamako est la moins corrélée

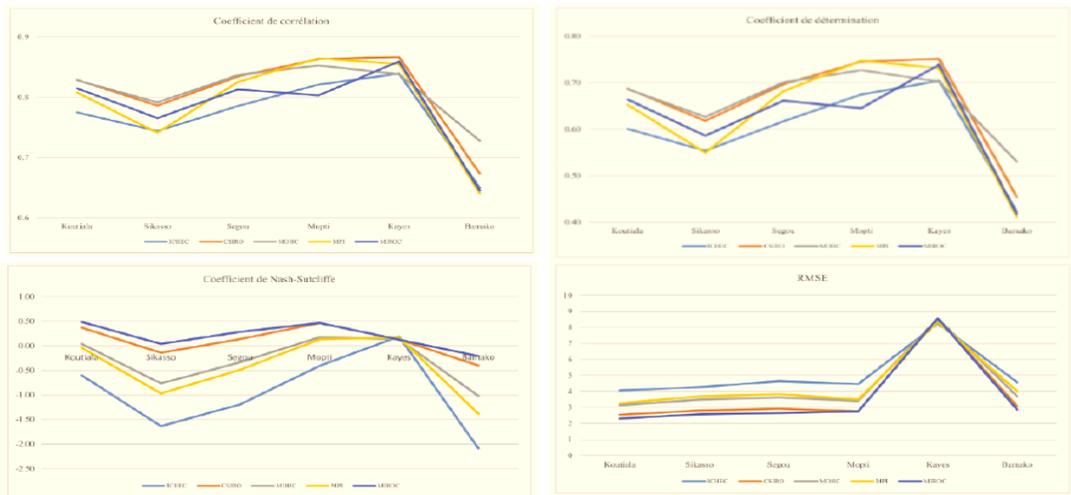


Figure 5. Comparaison des résultats statistiques des températures minimales observées de 6 stations météorologiques et de 5 GCMs simulées.

Les résultats de cette étude sont en adéquation avec ceux obtenus par Akinsanola et al. (2015, 2017), qui a évalué la variabilité de la pluviométrie intersaisonnière et interannuelle sur les subrégions et la zone toute entière de l'Afrique de l'Ouest en utilisant le RCA4. Ces résultats suggèrent que le RCA4 reproduit raisonnablement la distribution spatiale saisonnière de la pluviométrie mais simule avec une faible performance la côte guinéenne.

## CONCLUSION

Les 5 GCMs utilisés conduit par le RCA4 donnent une corrélation plus ou moins acceptable ; mais pour les trois paramètres climatiques considérés, les GCMs MPI-M-MPI-ESM-LR et ICHEC-EC-EARTH sont les plus fiables. Par conséquent, les études d'impacts peuvent être appliquées avec ces deux GCMs au Mali. Toutefois, ces données de projections sont beaucoup plus adoptées au Sud qu'au Nord du Mali. Il est recommandé de mener d'autres études pour corriger les résultats biaisés des GCMs afin de rendre les projections plus réalistes possibles.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs de cette étude remercient le programme ASNaCC/PNUD de l'avoir assisté financièrement.

## Références

- [1] Akinsanola AA, Ogunjobi KO, Gbode IE, Ajayi VO (2015) Assessing the capabilities of three regional climate models over CORDEX Africa in simulating west African summer monsoon precipitation. *Adv Meteorol* 2015:935431 . doi:10.1155/2015/93543113pages
- [2] Akinsanola, A.A., Ajayi, V.O., Adejare, A.T., Adeyeri O.E., Gbode, I.E., Ogunjobi, K.O., Nikulin, G., Abolude, A.T., 2017. Evaluation of rainfall simulations over West Africa in dynamically downscaled CMIP5 global circulation models. *Theor Appl Climatol*. DOI 10.1007/s00704-017-2087-8
- [3] Evans, J.P., 2011. CORDEX – An international climate downscaling initiative. Presented at the 19th International Congress on Modelling and Simulation, Perth, Australia, pp. 2705–2711.
- [4] Giorgi, F., Jones, C., Asrar, G.R., 2009. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bull.* 58 (3), 175–183.
- [5] IPCC 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. ; New York.
- [6] Kandji S. T., Verchot L., Mackensen J. 2006. Climate Change and Variability in the Sahel Region: Impacts and Adaptation Strategies in the Agricultural Sector.
- [7] Kjellström E, Abrahamsson R, Boberg P, Jernbäcker E, Karlberg M, Morel J, et al. (2014) Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget. *Klimatologi* 9. SMHI, SE-60176 Norrköping, Sweden. 65pp (in Swedish)
- [8] Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement. Seconde communication nationale du Mali sur les changements climatiques, 2011.

- [9] Nash, J., Sutcliffe, J., 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles. *J Hydrol* 10, 282–290.
- Oumou Diancoumba (2020), Assessment of the Effects of Climate Change and Land Use and Land Cover on Groundwater Resources in the Koda Catchment, A Thesis submitted to the West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use and the Université Abomey Calavi, Cotonou, Benin, in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Climate Change and Water Resources.  
<http://197.159.135.214/jspui/handle/123456789/295>
- [10] Ozturk, T., Altinsoy, H., Türkeş, M., Kurnaz, M., 2012. Simulation of temperature and precipitation climatology for the Central Asia CORDEX domain using RegCM 4.0. *Clim. Res.* 52, 63–76. doi:10.3354/cr01082
- [11] Samuelsson P, Jones CG, Willén U, Ullerstig A, Gollvik S, Hansson U, Hansson U, Jansson C, Kjellström E, Nikulin G, Wyser K (2011) The Rossby Centre regional climate model RCA3: model description and performance. *Tellus A* 63:4–23. doi:10.1111/j.1600-0870.2010.00478.x
- [12] Strandberg G, Bärring L, Hansson U, Jansson C, Jones C, Kjellström E, Kolax M, Kupiainen M, Nikulin G, Samuelsson P et al (2014) CORDEX scenarios for Europe from the Rossby. Centre regional climate model RCA4; report meteorology and climatology no. 116. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden
- [13] Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull Am Meteor Soc* 93:485–498
- [14] Toure, A., Diekkrüger, B., Mariko, A., 2016. Impact of Climate Change on Groundwater Resources in the Klela Basin, Southern Mali. *Hydrology* 3, 17. doi:10.3390/hydrology3020017
- [15] Toure, A.; Diekkrüger, B.; Mariko, A.; Cissé, A.S., 2017. Assessment of Groundwater Resources in the Context of Climate Change and Population Growth: Case of the Klela Basin in Southern Mali. *Climate*, 5, 45. <https://doi.org/10.3390/cli5030045>.
- [16] Traoré F., Bayoko A., Sanogo B., Diarra B., Konaté M. 2003. Elaboration des scénarios de changement climatique pour le mali. Centre National de la recherche Scientifique et Technologique. Programme d'assistance de Pays Bas sur les Changements climatiques
- [17] WWAP, 2006. Rapport national sur la mise en valeur des ressources en eau : Mali (No. 2ème Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau).



REPUBLIC OF TUNISIA



# International Conference-Training (ESC'2022) From 7 to 12 November 2022 Hammamet (Tunisia)



## Water resources, Health and Climate Change



E<sub>water</sub> H<sub>health</sub> C<sub>Climate</sub> '2022

# Water-Health-Climate'2022

*'Ce qui compte c'est demain'*

If you have any questions, don't hesitate to Contact Pr. Nouredine GAALOUL  
E-mail: [eauclimat@yahoo.com](mailto:eauclimat@yahoo.com)  
[eauclimat@iresa.agrinet.tn](mailto:eauclimat@iresa.agrinet.tn)

**ASTEE Tunisie**  
 2014 - 2020  
 U'lan: Notre Metier  
 L'Environnement: Notre Vie  
 Le Climat: Notre Planète  
 Le Développement: Notre Objectif  
 La Formation: Notre Devoir  
 La Recherche: Notre Avenir

*Abbi Rim*



# 2022



# Colloque-Formation International Eau-Santé-Climat'2022

## Ressources en Eau, Santé et Changement Climatique

07 au 12 Novembre 2022, Hammamet (Tunisie)

[www.jistee.org](http://www.jistee.org)

# Eau-Santé-Climat'2022

Pour plus d'informations veuillez contacter

Pr. Noureddine GAALOUJ

E-mail: [eauclimat@iresa.agrinet.tn](mailto:eauclimat@iresa.agrinet.tn)

[eauclimat@yahoo.com](mailto:eauclimat@yahoo.com)

*'Ce qui compte c'est demain'*

*Abbi Rim*

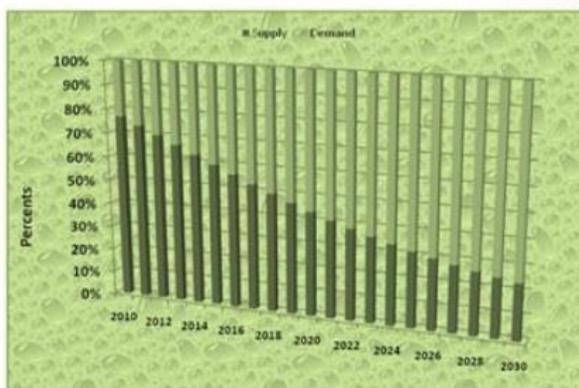




# Why Green Water Saving is not Fully Rewarded by Farmers in Mount Kenya Region

*A Research Frontier of Pure: Applied Sciences and Engineering*

INTERNATIONAL JOURNAL  
WATER SCIENCE AND  
ENVIRONMENT  
TECHNOLOGIES (IJWSET)



**Cush Ngongo Luwesi, PhD**

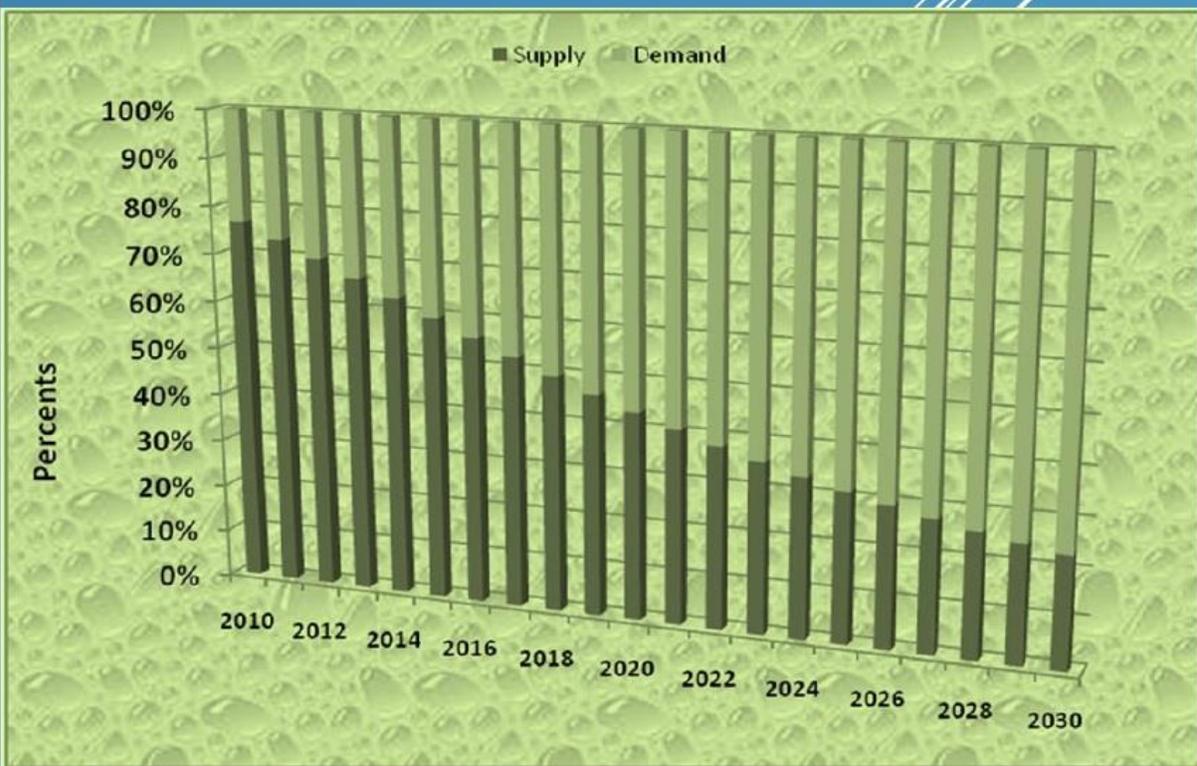
Full Professor of Economics and Environment  
Integrated Water Resources Management  
Ballsbridge University Curacao  
(Francophone Africa)



ISSN: Pending

# Why Green Water Saving is not Fully Rewarded by Farmers in Mount Kenya Region

*A Research Frontier of Pure: Applied Sciences and Engineering*



**Cush Ngonzo Luwesi, PhD**

Full Professor of Economics and Environment

Integrated Water Resources Management

Ballsbridge University Curacao (Francophone Africa Branch)

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.



Nouredine Gaaloul

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

in the MENA regions (Middle East and North Africa)



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

FOR AUTHOR USE ONLY



Nouredine Gaaloul



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

[https://www.morebooks.shop/bookprice\\_offer\\_2d8af3cb6075abfd6b89d0bf8095f8c1e5beaa11?locale=gb%C2%A4cy=EUR](https://www.morebooks.shop/bookprice_offer_2d8af3cb6075abfd6b89d0bf8095f8c1e5beaa11?locale=gb%C2%A4cy=EUR)

[www.jistee.org](http://www.jistee.org)

[jistee@iresa.agrinet.tn](mailto:jistee@iresa.agrinet.tn)

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

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

V (rii), Issue 3 –September 2022 - [jistee.org/volume-rii-2022/](http://jistee.org/volume-rii-2022/)

# 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, 22 Numéros, (342 Articles) et 1 Livre  
07 Volumes, 22 Issues, (342 Papers) and 1 Book

[jistee@yahoo.com](mailto:jistee@yahoo.com)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Copyright © 2022 – Jistee Tous droits réservés



**Appel à contributions : Prochain numéro la revue Scientifique : JISTEE – **Decembre 2022****  
**Call for contributions: Next issue of the Scientific review: JISTEE – **December 2022****

√ Open-access (OA) Journal

√ Double-anonymous Peer Reviewing

√ Fast Publication: 20-30 Days

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

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

Nous coordonnons la rédaction, du numéro mois de Décembre 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 Novembre 2022 afin de pouvoir être révisées par le Comité Scientifique International et que la mise en forme du numéro ait lieu en Août 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 – **December 2022****

International Journal of Water Science and Environment Technologies

We are pleased to inform you that the Vol 7, No 3 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](mailto:jistee@iresa.agrinet.tn) or [jistee@yahoo.com](mailto:jistee@yahoo.com)

to our online direct submission area, located here: <http://jistee.org/journal-international-sciences-et-techniques-de-leau-et-de-lenvironnement/>

# International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)



Volume (vii) - Issue 3 - [September 2022]

e-ISSN: 1737-9350

p-ISSN: 1737-6688

Open Access Journal

√ Double-anonymous Peer Reviewing

√ Fast Publication: 20-30 Days

[WWW.jistee.org](http://WWW.jistee.org)



## Invitation for Research Article – December 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, e-ISSN: 1737-9350 p-ISSN: 1737-6688, | Open Access Journal | is launching its next issue (September 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](mailto:jistee@iresa.agrinet.tn) (and CC [jistee@yahoo.com](mailto:jistee@yahoo.com)), for publication. Our objective is to inform authors of the decision on their manuscript(s) within 24h of submission. Following acceptance, a paper will be published in the Current issue.

### With regards

Editorial Office

International Journal Water Sciences and Environment Technologies (IJWSET)

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

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

V (vii), Issue 3 – September 2022 - [jistee.org/volume-vii-2022/](http://jistee.org/volume-vii-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 3 – Septembre 2022

**E**<sub>au</sub> - **S**<sub>anté</sub> - **C**<sub>limat</sub>'2022



**Eau, Climat, Santé, Inégalités : Quelles  
Solutions**

Rédacteur en Chef : Pr Nouredine Gaaloul

Publié par:

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

# INTERNATIONAL JOURNAL

## Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (vii) - Issue 3 – September 2022

**W**ater-**H**ealth-**C**limate'2022



**Water, Climate, Health, Disparities:  
Solutions**

**Editor-in-Chief: Pr Nouredine Gaaloul**

Published by:

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