JOURNAL INTERNATIONAL

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

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

Volume (VI) - Numéro 1 — Avril 2021

Eau-Agriculture-Climat'2021



Face aux enjeux climatiques et alimentaires : Réinventer les relations Eau-Agriculture-Climat

Rédacteur en Chef: Pr Noureddine Gaaloul

Publié par:

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

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (VI) - Issue 1 — April 2021

Water-Agriculture-Climate'2021



Faced with climate and food issues: Reinventing Water-Agriculture-Climate relations

Editor-in-Chief: Pr Noureddine Gaaloul

Published by:

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

"وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيِّ "
سورة الأنبياء أية 30

Et fait de l'eau toute chose vivante
(Al-Anbiya 30)



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

Appel à contributions : Prochain numéro la revue Scientifique : JISTEE – Juillet 2021

Nous coordonnons la rédaction, du numéro mois de Juillet 2021 " Eau- Agriculture – Climat", (EAC-2021), qui vous est ensuite offert gratuitement en format pdf.

Le thème retenu pour 2021 est "Eau-Agriculture – Climat", en vous rappelant, si besoin en était, que le changement global couvre à la fois le changement climatique et les changements anthropiques (variations d'occupation des sols et aménagements des bassins versants, prélèvements, etc.).

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

Les contributions seront attendues pour le courant du mois de Juin et Juillet 2021 afin de pouvoir être révisées par le Comité Scientifique International et que la mise en forme du numéro ait lieu en Juillet 2021 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 – July 2021

International Journal of Water Science and Environment Technologies

We are pleased to inform you that the Vol 6, No 2 of International Journal of Water Science and Environment Technologies is available at https://jistee.org/volume-vi-2021/ Open access Journal are freely accessible via the internet for immediate worldwide. This Journal is an Open Access International Journal and will accept research and review manuscripts ranging from, Basic research on Water, Climate, Environment, Hydrology; hydrogeology and management of water resources; Agricultural hydraulics (Irrigation, Drainage, etc.), Modeling of Water Resources (Hydraulics, Hydrology, Hydrogeology), Physico-chemical quality of Surface and groundwater; Hydrobiology, microbiology, toxicology and ecotoxicology; the structure and function of aquatic ecosystems; Water quality, wastewater treatment and drinking water; Municipal and industrial wastewater treatment; Management of water resources (quantitative, socio-economic and legal aspects),...

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

to our online direct submission area, located here:

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

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

Noureddine Gaaloul
Prof. Université de Carthage – IRESA - INRGREF (Tunisie)
Hamadi Habaieb
Prof. Université de Carthage – IRESA - INAT (Tunisie)
Zouhaier Nasr
Prof. Université de Carthage - IRESA - INRGREF (Tunisie)
Mohamed Hachicha
Prof. Université de Carthage - IRESA - INRGREF (Tunisie)

Zouhaier Hlaoui Prof. Université de Tunis - Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis (Tunisie)

Adel Kharroubi Prof. Université de Gabès – ISSTEG (Tunisie)
Taoufik Hermassi M.Conf. Université de Carthage – IRESA -INRGREF (Tunisie)
Mohamed Habib Sellami M.Conf. Université de Jendouba – IRESA- ESIM (Tunisie)

Hechmi Belaid M. Assistant. Université de Jendouba -IRESA- ESIM (Tunisie)
Rim Katlane M.Conf. Université de la Manouba - Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités (Tunisie)

Ibrahima Amadou Traoré Expert Hydrogéologue
Mohamed Meddi Prof. ENSH, (Algérie)
Azzedine Hani Prof. Univ. Annaba (Algérie)
Larbi Djabri Prof. Univ. Annaba (Algérie)

Salah Eddine Ali Rahmani Prof. Univ. des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Algérie)

Saadane Djorfi Prof. Université de Annaba (Algérie)
Mohammed Achite Prof. Université de Chlef (Algérie)
Abdelhalim Yahiaoni Prof. Université de Bechar (Algérie)
Mohamed Bessenasse Prof. Université de Saad Dahlab-Blida (Algérie)

Benabadji Noury Prof. Université de Tlemcen (Algérie)
Abdelssamad Merzonk Prof. Université de Tlemcen (Algérie)
Abdelbalim Yahiaoni M.Conf. Université de Biskera (Algérie)
Guergazi Saădia M.Conf. Université de Biskera (Algérie)

Beloulou Laroussi M.Conf. Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)

Guendouz Abdelhamid M.Conf. Université de Blida1 (Algérie) Khonaldia Wacila M.Conf. Université de Souk-Abras (Algérie)

Belkacem Bekkoussa M.Conf. Université Mustapha Stambouli de Mascara (Algérie)

Ali Essablaoni Prof. Université Monlay IsmailMeknes (Maroc)
El Onali Abdelhadi Prof. Université Monlay Ismail Meknes (Maroc)
Abdellah El Hmaidi Prof. Université Monlay Ismail Meknes (Maroc)
Imad Manssouri Prof. Université Monlay Ismail Meknes (Maroc)

Abdelmajid Moumen Prof. Université Nadour (Maroc)
Mbamed Anyay Prof. Université deFès (Maroc)
Abdelaziz Abdallaoui Prof. Université Moulay Ismail (Maroc)

Amadou Thierno Gaye Prof. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, (Sénégal)
Sousou Sambou Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)
Diop Ngom Fatou Prof. Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)
Soro Nagnin Prof. UFR STRM (Cote d'Ivoire)

Gnamba Franck Maxime Prof. UFR STRM (Cote d'ivoire) Soro Nagnin Prof. UFR STRM (Cote d'Ivoire) Cush Ngonzo Luwesi Prof. Univ. Dem. Rep. (Congo) Koussouhon A. Leonard Prof. FLLAC/ UAC (Congo) Koumassi Dègla Hervé Prof. LACEEDE/UAC (Bénin) Hamma Yacouba Prof. 2iE (Burkina Faso) Harouna Karambiri Prof. 2iE (Burkina Faso) Lienou Gaston Prof. Univ. Yaoundé (Cameroun) Gnandi Kissao Prof. Univ. Lomé (Togo) Hamadoun Bokar Prof. Univ. ENI-abt (Mali) Saeid Eslamian Prof. Université de. Isfahan (Iran) Prof. CR4D (Ethiopia) Amadou Gaye Richard Anyah Prof. CR4D (Ethiopia) Prof. CR4D (Ethiopia) Benjamin Lamptey Prof. Univ. Technology (Iraq) Ageel Al-Adili Moumtaz Razack Prof. Université de Poitiers (France) Lucila Candella Prof. Univ. Catalonia (Spain)

Andreas Kallioras Prof. Univ. Athens (Greece)
Christoph Schüth Prof. Tech. Univ. Darmstrad (Germany)
Jean-François Deliège Prof. Univ. de Liège (Belgique)

Fotis K. Pliakas

Prof. Univ. Thrace (Greece)

Préface



Le changement climatique bouleverse les équilibres géographiques et saisonniers, menace la production agricole et la sécurité alimentaire, exacerbe les tensions, créant des incidences dans ce rapport déjà complexe entre le monde agricole et l'eau. Gérer plus efficacement les ressources, répondre aux besoins, anticiper les conflits d'usage s'imposent désormais à tous. Pour cela, il faut réinventer les liens entre l'eau et l'agriculture face aux enjeux climatiques et alimentaires, promouvoir une nouvelle approche des relations avec l'eau verte et l'eau bleue, appréhender les besoins pour l'agriculture de

demain, et rechercher de nouvelles coopérations pour une meilleure qualité de l'eau.

Le changement climatique impacte le cycle de l'eau et l'agriculture. Les sécheresses et canicules ont des effets à la fois directs (mortalités) et indirects (changements des habitats microbiens). Toutes les fonctions microbiennes et la biodiversité sont touchées. Même si la pluie revient au bout d'un certain temps, le retour de la vie microbienne n'a rien d'assuré : il y a des effets de seuils possibles.

Bien que l'irrigation soit souvent accusée par le grand public de mobiliser trop de ressources et de « gaspiller l'eau », l'analyse comparée des chiffres montre pourtant une très heureusement pourvue en eau par la nature et une irrigation peu consommatrice et dont l'efficience a beaucoup progressé.

Le changement climatique, dont les effets sont déjà perceptibles, aura des conséquences lourdes sur l'agriculture comme sur les ressources en eau et les milieux aquatiques dans les prochaines décennies. Il va nécessiter à la fois des transformations importantes de l'agriculture et la sécurisation de la ressource en eau dans le respect des équilibres naturels.

Le départ massif à la retraite d'agriculteurs dans la décennie à venir et l'arrivée de jeunes agriculteurs formés à l'agroécologie constituent à ce sujet un énorme défi mais aussi une formidable opportunité pour déployer cette transformation. Cette dernière peut offrir des perspectives nouvelles au monde agricole et contribuer à restaurer le dialogue de celui-ci avec le reste de la société, autour des questions de l'eau, de son partage mais aussi des pratiques agricoles au sens large et des externalités positives de l'agriculture (qualité de "eau, paysages, captation du carbone, gestion des risques naturels...).

Au regard de l'importance des changements à venir, les conditions de transition de l'agriculture, comme de son accompagnement dans cette mutation devront faire l'objet d'une attention particulière des pouvoirs publics (développement et conseil agricoles, financements...) et d'une volonté politique forte, portée sur le temps long. Les politiques publiques devront être adaptées au rythme et à l'ampleur du changement climatique et opter résolument en faveur de soutiens adossés à des résultats et non plus seulement à des engagements de moyens. Par ailleurs, les pouvoirs publics devront être très attentifs, dans cette transition, à l'équilibre économique des entreprises agricoles comme à la viabilité des filieères, actuelles ou nouvelles. Parmi les récommondations :

- Accélérer la transformation de l'agriculture pour faire face au changement climatique.
- Faire des sols le socle de la stratégie de l'adaptation de l'agriculture au changement climatique.
- Concevoir et mettre en place l'irrigation de demain : vers une irrigation « de résilience ».
- Mettre en place les conditions d'un renforcement acceptable de la ressource en eau pour l'agriculture.
- Dynamiser une gouvernance territoriale pour la gestion de l'eau.
- Connecter plus fortement la recherche, le développement et les agriculteurs et filières confrontées au changement climatique

Noureddine Gaaloul
Professeur de l'Enseignement Supérieur Agricole (INRGREF)
Fondateur et Rédacteur en Chef de la Revue
Journal International Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement
(www.jistee.org)

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

limate change upsets geographic and seasonal balances, threatens agricultural production and food

security, exacerbates tensions, creating implications for this already complex relationship between the agricultural world and water. Managing resources more efficiently, meeting needs and anticipating conflicts of use is now a matter for everyone. To do this, we must reinvent the links between water and agriculture in the face of climate and food issues, promote a new approach to relations with green water and blue water, understand the needs for the agriculture of tomorrow, and seek new cooperation for better water quality.

Climate change impacts the water cycle and agriculture. Droughts and heat waves have both direct (mortalities) and indirect (changes in microbial habitats) effects. All microbial functions and biodiversity are affected. Even if the rain returns after a while, the return of microbial life is not guaranteed: there are possible threshold effects.

Although irrigation is often accused by the general public of mobilizing too many resources and of "wasting water", the comparative analysis of the figures nevertheless shows a very fortunately provided with water by nature and a low-consumption irrigation. efficiency has improved a lot.

Climate change, the effects of which are already noticeable, will have serious consequences on agriculture as well as on water resources and aquatic environments in the coming decades. It will require both major transformations in agriculture and the securing of water resources while respecting natural balances.

The massive retirement of farmers in the coming decade and the arrival of young farmers trained in agroecology is a huge challenge in this regard, but also a great opportunity to deploy this transformation. The latter can offer new perspectives to the agricultural world and help restore the latter's dialogue with the rest of society, around issues of water, its sharing but also agricultural practices in the broad sense and positive externalities. agriculture (water quality, landscapes, carbon capture, management of natural risks, etc.).

In view of the importance of the changes to come, the conditions for the transition of agriculture, as well as its support in this transformation, should be the subject of special attention by the public authorities (agricultural development and advice, financing, etc.) and a strong political will, carried over the long term. Public policies will have to be adapted to the pace and scope of climate change and resolutely opt in favor of support based on results and no longer only on commitments of resources. In addition, the public authorities will have to be very attentive, in this transition, to the economic balance of agricultural enterprises as well as to the viability of sectors, current or new. Among the recommendations:

- Accelerate the transformation of agriculture to face climate change.
- Make soils the basis of the strategy for adapting agriculture to climate change.
- Design and implement the irrigation of tomorrow: towards "resilience" irrigation.
- Establish the conditions for an acceptable strengthening of water resources for agriculture.
- Boost territorial governance for water management.
- Connect research, development and farmers and sectors facing climate change more strongly

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, INRGREF-Tunis).

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

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



ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688 Open Access 06 Volumes, 16 Numéros, (298 Articles) (mise à jour Avril 2021) 06 Volumes, 16 Iuues, (298 Papers) (Up date April 2021)

International Journal Water Sciences And Environment Technologies (IJWSET)

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

Volume (VI): 3 Numéros (??? Articles) / 3 Issues (:::::::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 – Juillet 2021

Numéro 3 – Décembre 20201

VOLUME (V) 2 Numéros (27 Articles) / 2 Issues (27 Papers) Eau-Climat'2020 (EC-2020) / Water-Climate'2020 (EC-2020)

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

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

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

Eau-Énergie-Climat'2019 (2EC-2019) /Water-Energy-Climate'2019 (E²C-2019) Numéro 1 – Décembre 2019 (56 Articles) Gestion Intégrée des Ressources en Eaux / Integrated Water

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

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

Eau-Environnement-Climat'2018 (E²C-2018) /Water-Environement-Climate'2018

Numéro 1 – Avril 2018 (62 Articles) Gestion des Ressources en Eau / Water Resources Management Numéro 2 – Août 2018 (34 Articles) Sciences de l'Environnement / Environnental Earth Sciences

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

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

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

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

des changements climatiques / Assessment of water resources under pressure from humanity and climate change

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

Numéro 4 – Août 2017 (8 Articles) Modélisation de l'impact des changements anthropiques et climatiques

sur les ressources en eau / Modeling the impact of anthropogenic and climatic changes on water resources Numéro 5 – Octobre 2017(11 Articles) Modélisation Numérique en Hydraulique, Hydrologie et

Hydrogéologie /Numerical Modeling in Hydraulics, Hydrology and Hydrogeology VOLUME (I) 3 Numéros (36 Articles) / 3 Issues (36 Papers)

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

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

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

Numéro 3 – Décembre2014 (11 Articles) Changements Climatiques en Région Méditerranéenne / Climate Change in the Mediterranean Region

Copyright © 2020 - Jistee Tous droits réservés



Page 7



www.jistee.org

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



Sommaire

Analyse des sédiments de la riviére du Toudgha et l'évolution de l'occupation du sol du bassin versant, (flanc sud du haut Atlas central. Maroc)	9
Kamal El Badaoui, (<i>Université de Cadi Ayyad-Marroc</i>), Ahmed Algouti, Abdellah Algouti, Fatiha Hadach	
Evaluation de tendances et de la variabilite de température au Sud-Est Tunisien Fayech Dorsaf (Université de Carthage –INAT - Tunisie), Tarhouni Jamila	21
Etude de la germination des graines de Petit pois (Pisum arvense L.P.F.) espèce cultivée soumise aux traitements salés de Chlorure de sodium (NaCl) et de sulfate de potassium (K ₂ SO ₄)	30
Kahouadji Selma, (Université de Tlemcen – Algérie), Boudghène Stambouli Sihem, Benabadji Noury	
Cartographie des risques d'inondation à l'échelle du bassin fluvial à l'aide de l'indice de potentiel d'inondation : Cas du sous-bassin du Niéri-Ko (Bassin de la Gambie)	40
Cheikh Faye (Université Assane Seck de Ziguinchor – Sénégal), Sidy Dièye, Ababacar Fall, Boubacar Solly,	
La consommation du charbon de bois dans la ville de Boma (RDCongo) : enjeux socioéconomiques et écologiques	52
Mbuangi Lusuadi Maurice (Université Joseph Kasa Vubu, Boma - RDCongo), Ntoto M'vubu Alphonse Roger	
Chronologie phytodynamique de quelques stations du matorral : région de Tlemcen	62
Djebbari Walid (Université de Tlemcen- Algérie), Meftah Fatima Zohra, Hadj Allal Fatima Zohra, Merzouk Abdessamad	
Effets des biofertilisants SAIN-orga1, SAIN-orga2 et du jus de vermicompost sur le tallage du riz IR 841 en système de riziculture intensive dans les conditions agroécologiques de Kakanitchoé, commune d'Adjohoun au Bénin	71
Gbenou Pascal (Université Nationale d'Agriculture - Bénin)	
Etude diagnostique de la contamination par les nitrates des eaux souterraines de la plaine de djermaya, province de hadjer lamis au Tchad	79
Epolyste Adjeffa (Université de N'Djamena - Tchad), Ayambi Goutima, Abdel-Aziz Adoudou Mahamat	
Integrated Water Resources Management and Climate Change	89
Gaaloul Noureddine (University of Carthage – INRGREF - Tunisia), Saeid Eslamian, Rim Katlane	
Drought impact on rainfall and water storage in Tunisian semi-arid context Walid Ben Khelifa (University of Carthage – INRGREF - Tunisia), Sameh Chargui	104
Erosion Potential Method (Gavrilović Method): Methodological improvements and application in Toudgha River catchment, southeast of Morocco	114
Kamal El Badaoui, (University of Cadi Ayyad-Marroco), Ahmed Algouti, Abdellah Algouti, Essaadia Adaze	

El Badaoui Kamal, Algouti Ahmed, Algouti Abdellah and Hadach Fatiha

Analyse des sédiments de la riviére du Toudgha et l'évolution de l'occupation du sol du bassin versant,

(Flanc sud du haut Atlas central. Maroc)

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,

Vol. (vi), No. 1, Avril 2021, pp. 9-20

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



Analyse des sédiments de la riviére du Toudgha et l'évolution de l'occupation du sol du bassin versant,

(Flanc sud du haut Atlas central. Maroc)

Kamal El Badaoui¹, Ahmed Algouti², Abdellah Algouti³, Fatiha Hadach⁴

1Phd student, Laboratory of 2GRNT, Department of Geology, Faculty of Sciences, Cadi Ayyad university. 2Professor, Laboratory of 2GRNT, Department of Geology, Faculty of Sciences, Cadi Ayyad university. 3Professor, Laboratory of 2GRNT, Department of Geology, Faculty of Sciences, Cadi Ayyad university. 4Phd student, Laboratory of 2GRNT, Department of Geology, Faculty of Sciences, Cadi Ayyad university.

RÉSUMÉ

L'approche sédimentologique proposée est basée sur la caractérisation des sédiments du réseau hydrographique principal de l'Oued Toudgha aux entourages de la ville de Tinghir, située au piedmont sud du Haut Atlas central du Maroc. Les variations des valeurs des paramètres sedimentologiques calculés nous renseignent sur la régularité du niveau énergétique de l'agent de transport. Ces analyses sédimentologiques permettent d'obtenir des résultats très précis qui peuvent permettre de reconstituer l'histoire de la sédimentation et de déterminer les milieux de dépôt des grains. Ceci suppose une détermination scientifique de différents types de grains en fonction de la nature des dépôts. Aussi, l'analyse des images Landsat à différentes époques nous a permis de suivre l'évolution des formations végétales naturelles dans le couloir de la vallée d'Oued Toudgha. L'objectif est de mettre en évidence le changement spatio-temporel des groupements végétaux, l'évolution démographique et l'occupation du sol de la zone. Le processus d'interprétation des images a été l'identification visuelle des classes d'occupation du sol par la classification supervisée. La précision a été validée par la connaissance de terrain et à l'aide des images Google Earth. L'image prise en 1985 montre une distribution moins dense de la végétation le long des rives des oueds et dans quelques autres endroits vers l'aval, relativement à l'image Landsat de 2019 qui montre une distribution dense et élargie due soit à l'exploitation des nappes aux voisinages des oueds soit par l'utilisation directe des eaux superficielles (précipitation). Ceci avec une évolution remarquable de l'espace bâti résultant d'une dynamique de l'urbanisation au sein de la plaine de Toudgha.

Mots clés: Haut-Atlas central, Tinghir, Analyses sédimentologiques, Télédétection, Oued Toudgha

Toudgha river sediments analysis and the land use evolution of the watershed, (southern flank of the central High Atlas. Morocco)

Abstract

The proposed sedimentological approach is based on the characterization of the sediments of the main hydrographic network of the Oued Toudgha, located at the southern flank of the central High Atlas of Morocco. The variations of the values of these sedimentological parameters provide information on the regularity of the energy level of the transport agent. These sedimentological analyses allow us to obtain significante results that can be used to reconstruct the history of sedimentation and to determine the depositional environments of the grains. This implies a scientific determination of different types of grains according to the nature of the deposits. Also, the analysis of Landsat images at different times has enabled us to follow the evolution of land cover in the Oued Toudgha valley. The objective is to highlight the spatio-temporal change of vegetation cover, demographic evolution and land use in the area. The process of image interpretation has been the visual identification of land use classes through supervised classification. Accuracy was validated by field knowledgeand by using Google Earth images: the 1985 image shows a less dense distribution of vegetation along the banks of the river and in a other places in the downstream, compared to the Landsat 2019 image which shows a dense and widened distribution due either to the exploitation of groundwater in the vicinity of the river or to the direct use of surface water (rainfall). This with a significante evolution of the builted area resulting from a dynamic of urbanization within the Toudgha plain.

Keywords: Central High Atlas, Tinghir, Sedimentological analyses, Remote sensing, Wadi Toudgha

¹ Corresponding author: kamalelbada@gmail.com

INTRODUCTION

Le bassin versant d'Oued Toudgha fait partie du bassin Ziz-Ghris qui correspond à une dépression tectonique d'effondrement mésozoïque. Elle est bordée au nord par les reliefs du Haut Atlas central et au sud par ceux de l'Anti Atlas. La riviere de l'Oued Toudgha draine la partie sud du Haut Atlas central, ce bassin contrôlé par la station hydrologique de Tamtattoucht, située à l'amont des gorges de Toudgha à 20Km au nord et celle d'Ait Bouijane qui se trouve en zone des collines au sud des gorges. L'Oued Toudgha alimente la palmeraie de Tinghir, traverse ensuite la palmeraie de Tinjdad. Il reçoit, en rive gauche, l'Oued Tanguerfa. Il prend alors le nom de l'oued Ferkla. La vallée du Toudgha apparait plus ouverte dans sa partie aval. Tandis, qu'elle devient plus encaissée dans sa partie amont. Cela nous permet de subdiviser le bassin en trois domaines en se basant sur le relief global : Un domaine à haute montagne, montrant des reliefs à haute altitude, un deuxième domaine intermédiaire caractérisé par des reliefs assez importants, et un domaine caractérisé par des dépressions altitudinales (cuvettes). Le relief est globalement diversifié avec des terrains accidentés dans les parties nord et nord-ouest au Haut Atlas et sud-ouest au niveau de l'Anti-Atlas; les plateaux sont localisés dans la partie centrale en particulier dans le sillon pré-africain; tandis que les plaines sont occupées par des terrains sédimentaires d'âge quaternaire à la plaine de Tafilalt, oasis de Goulmima, Ferkla et de Ghelil. La carte de pentes montre les variations de la pente topographique du bassin versant de Toudgha. Elle permet de le subdiviser en trois parties en fonction de leur influence sur l'écoulement superficiel des eaux : Une partie Nord, appartient à la zone de haute montagne(les falaises jurassiques), elle comprend des pentes forte ; l'accélération du ruissellement est donc importante: les eaux s'écoulent à toute vitesse, chute des blocs...Une partie intermédiaire avec des pentes moyenne (massif de anti-atlas au sud) et la troisième partie qui se situe à la partie centrale du bassin et a l'est, comprend des pentes faible, leurs influence sur l'écoulement est faible. Le profil de pente hydrographique montre la variation de la pente le long de l'oued Toudgha, il permet de le subdiviser en deux parties, la premiere avec une pente forte dans la face amont (NS) favorise l'accélération du ruissellement et l'autre faible en aval (WE). Les formations géologiques dans la zone d'étude sont constituées principalement de plusieurs unités, la plus ancienne d'âge précambrien situé au sud-ouest de bassin de Toudgha. Composée de séries sédimentaires et volcano-sédimentaires présentant des intrusions calco-alcalines. L'ensemble de cette zone a été affecté par un métamorphisme régional de faible intensité (Marini et Ouguir. 1990, Gaber. 1991, Fekkek. 1992, Benkirane. 1987) ; suivi par des grès-quartzitiques et schistes d'âge paléozoïque (Cambro-ordovicen) et de terrains à dominance calcaire d'âge mésozoïque (jurassique et cretacé) (Margat 1962). Les affleurements d'age tertiaires bordent l'oued Toudgha au Nord de Tinghir. Ils sont formés essentiellement de calcaires, de grès-calcaires plus au moins consolidés et de grès blancs ou violacés tendres et mal consolidés. Le quaternaire récent est formé d'éboulis de pentes et d'alluvions qui bordent le parcours de Toudgha constitué essentiellement de limons [15]. Il ressort que le bassin versant de Toudgha est formé essentiellement par des terrains perméables à semi-perméables qui occupent la presque totalité de la superficie du bassin, ce qui favorise l'infiltration des eaux de surface et déclenchement d'érosion hydrique.

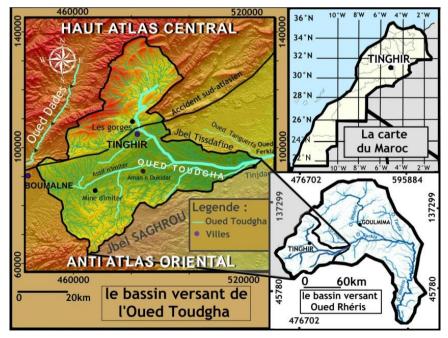


Figure 1 – Situation geographique du basin versant de l'oued Toudgha

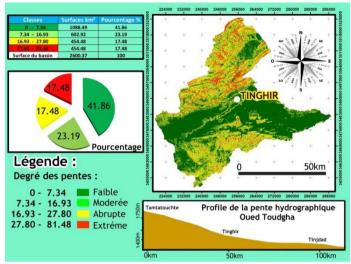


Figure 2 – La carte des pentes de basin versant de l'Oued Toudgha

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Plusieurs sources de données ont été exploitées afin de cartographier les caractéristiques de terrain d'étude :

- Cartes topographiques 1/100 000: BOUMALNE, TINERHIR, ALNIF et TINJDAD.
- Cartes géologiques: 1/200 000 JBELSAGHRO-DADES, TODGHA-MA'DER. 1/100 000 TINEGHIR et TINJDAD.
- Modèle Numérique de Terrain ALOS PLASAR avec une résolution de 12.5 m.
- Images Landsat & Oli/Tirs 1ere image, Date d'acquisition : 2019-01-16.image Landsat & TM, Date d'acquisition : 08-04-1985.

La méthodologie contribuée est l'ensemble des techniques permettant d'exploiter et d'interpréter les données granulométriques, l'étude morphoscopique et exoscopique des grains de quartz ainsi que la minéralogie des argiles compléter par une étude comparative des images satellitaires de la zone. Les méthodes sédimentologiques d'analyse et d'interprétation des données granulométriques se révèlent difficilement transposables au domaine purement fluviatile. Afin de tenter d'expliquer les processus intervenant dans le dépôt des sables de l'Oued Toudgha, nous avons entrepris une étude générale de la granulométrie des sables de ce cours d'eau. Les prélèvements des échantillons ont été effectués le long de la rivière ; pour pouvoir localiser les paramètres du bassin influençant la variabilité granulométrique du bassin, on a figuré ci-dessous les points d'échantillonnages.

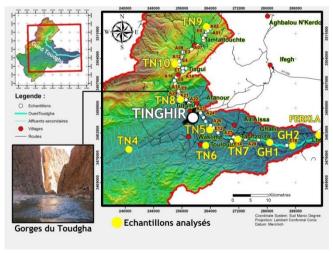


Figure 3 - Situation des prélèvements des échantillons analysés

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques granulometriques: Un certain nombre des courbes granulométriques ont été établies à partir de la mesure par comptage des fractions des sédiments et du calcul des écarts empiriques des échantillons prélevés le long d'oued (entre la station TN9 en amont et Ferkla en aval). La présentation des courbes cumulatives résume l'évolution de la distribution granulométrique des différents échantillons récoltés: les sédiments de la face amont sont bien classés, représentés par des sables à fraction grossière. Tandis que les sédiments de la face aval sont représentés par des sables mal classé. Les courbes cumulatives des échantillons, (TN9, TN6, TN4, HA1, TN7) montre une distribution hétérogène, le sable est mal trié; caractérise deux apports de nature différents ou une zone de confiance de nature minéralogique différentes. L'analyse granulométrique des sédiments de cours d'eau ne présentent pas une taille de grain unique, mais sont formés d'un mélange de grains de tailles différentes. Le mélange est entièrement défini par des courbes de répartition granulométrique. La variation de la granulométric cumulée est généralement tributaire des changements de topographie, elle est conditionnée par le transport préférentiel des sédiments fins et la diminution de la pente du lit vers l'aval.

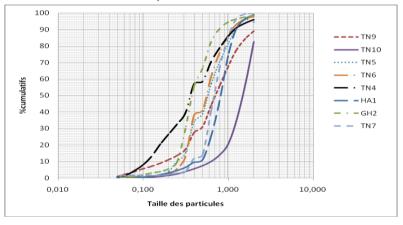


Figure 4 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons

Les indices granulométriques: Pour le calcul des paramètres et les indices des sables, nous avons eu recours à différentes approches granulométriques (Mastersizer, 2000; Folk et Ward, 1957; [17]; Rivière, 1977; [11]; [2]; [16]; Triat, 2012; [12]; [8].

- Indices de Trask :

Tableau 1 : Valeurs des indices de Trask.

ID	S0	SK	Moy	Coef d'acuité
TN9	1.69	0.845	0,675	0,26
TN10	1.648	0.953	1,51	0,25
TN5	1.593	0.977	0.679	0,31
TN7	1.28	1,04	0.73	0,25
GH1	1.23	0.622	0.336	0,21
TN2	1.472	0.883	0.238	0,25
TN4	1,95	1,29	0.512	0,27
TN6	1.50	0.942	0.586	0,26

- Indices de Inman:

Tableau			

ID	Moy(φ)	Hétérométrie σ Ø	Coef d'asymétrie Asф
TN9	0.735	1,04	-0,1096
TN10	0,248	0,756	1,097
TN5	0,592	0,913	0.108
TN7	0,442	0,394	0,128
GH1	0,9	0.249	2,66
TN2	1.241	0.62	0.407
TN4	1,365	1,36	0,06
TN6	0,789	0,797	0,069

Le diagramme de corrélation (Fig.5) de l'indice d'asymétrie « Sk » (Tableau 1) a été établi à partir de la mesure des fractions des sédiments pour caractériser la variabilité de Sk en fonction de la distance amont aval.

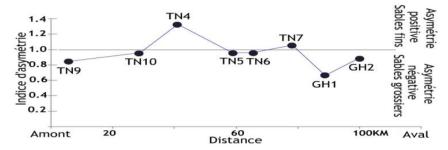


Figure 5: Evolution de l'indice d'asymétrie de Trask (Sk).

Le graphe (Fig.5) met en évidence une sédimentation de sable de plus en plus fine de l'amont vers l'aval, les points d'échantillonnage (TN9, TN10, TN5, GH1, GH2, TN6), appartiennent au domaine d'asymétrie négative caractérisant une sédimentation grossière, ils sont expliqués par l'énergie très forte engendrée par une forte obliquité de pente. Par contre TN7, TN4 appartiennent au domaine positif caractérisant une sédimentation des sables fins ayant une énergie faible.

Le diagramme de corrélation de l'indice de classement « S0 » a été établi à partir des mesures des fractions des sédiments pour caractériser la variabilité de ce paramètre en fonction de la distance (Fig. 6).

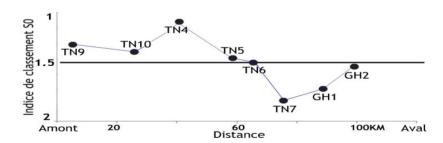


Figure 6 : Evolution de l'indice de classement par rapport à leur distance hydrographique

L'analyse de ce graphe montre deux domaines à interprétation distincte ; le premier avec $S0 \le 1,5$ caractérise les sédiments de très bon classement ; il montre que la dynamique du transport est la même. Le deuxième avec $S0 \ge 1,5$ indique le bon classement des sables récoltés. Le champ de variation global de l'indice de classement est compris entre 1,95 et 1,23 ; ce qui confirme le bon classement (Fig.6), en general (si 1<S0<2,5 donc les sédiments sont bien classés). La variation de la distribution granulométrique des sables montre une liaison aux processus intervenant dans l'écoulement ; irrégularité du fond, accélération de l'écoulement sur la face amont et ralentissement sur la face aval, frottement sur le fond et de pente. La mobilisation des grains s'organise selon l'intensité de l'écoulement qui le met en mouvement en-deçà d'un certain seuil, l'écoulement est trop faible pour faire deplacer les sédiments, alors que la mobilisation des sédiments grossiers nécessite des pentes des lits plus fortes ou des conditions hydrauliques extrêmes.

La morphométrie: Depuis la publication par [5] d'une méthode simple de mesure de galets permettant le calcul des trois indices granulometriques (d'émoussé, d'aplatissement et de dissymétrie), l'on dispose de bons critères permettant, non seulement de caractériser la forme du galet mais aussi de décrire son histoire [4]. Les résultats de mesure des indices morphométriques, ont permis de déterminer les paramètres du bassin influençant la variabilité morphométrique d'Oued Toudgha. Pour l'ensemble des échantillons, on dresse les courbes cumulées pour déduire les indices moyens d'émoussé et d'aplatissement.

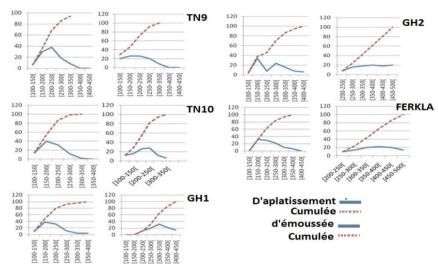


Figure 7 : Courbes de fréquences simples et cumulées de l'indice d'aplatissement et d'émoussé d'échantillons

Un diagramme reportant l'indice d'aplatissement en fonction de la distance de l'amont à l'aval a été établi pour caractériser la variabilité de ce paramètre le long de l'oued (fig.8).

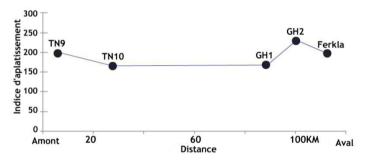


Figure 8 : Evolution de l'indice d'aplatissement par rapport à la distance hydrographique

La figure 8 montre la variation spatiale de l'indice d'aplatissement de l'amont vers l'aval. Elle montre une faible diminution de la forme aplatis des éléments jusqu'à 80km vers la face aval. La valeur élevée de GH2 correspond à un nouvel échantillon recolté après une confluence d'un affluent secondaire de nature minéralogique différente.

Le diagramme de corrélation de l'indice d'émoussée été établi pour caractériser sa variabilité en fonction de la distance (Fig.9).

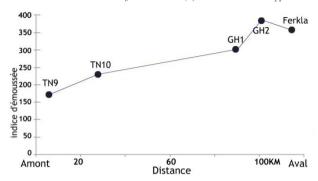


Figure 9 : Evolution de l'indice d'émoussée le long d'oued.

La figure 9 montre que l'indice d'émoussé augmente rapidement allant vers la face aval de TN9 à GH2, avec une diminuation remarquable au-delà de GH2 (100 km) due au melange et l'apport des affluents des galets du nature petrographique differente. On remarque que l'indice est variable selon le façonnement par l'agent de transport et les proprietés physiques des roches. La variation des indices d'aplatissement et d'émoussé s'explique par le fonctionnement hydrosédimentaire d'Oued Toudgha : l'aplatissement en général diminue le long de l'Oued par opposition à l'indice d'émoussé qui augmente.

La nature pétrographique le long de l'oued

Une étude le long de l'Oued de Toudgha a été faite pour pouvoir déterminer la variabilité pétrographique des échantillons récoltés. Son principe consiste à déterminer les différentes classes pétrographiques rencontrées lors des prélèvements de galets dans le lit de l'Oued.

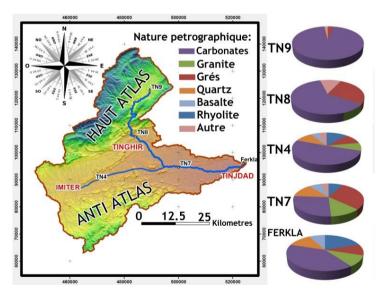


Figure 10 : evolution de la nature pétrographique le long d'oued Toudgha

De l'amont vers l'aval on remarque une diversification des classes pétrographiques. Ceci est dû à l'érosion des différents terrains que le cours d'eau a traversés. Les zones de provenance sont caractérisées par une rareté des classes pétrographiques, par contre les parties distales montrent une plus grande diversité avec augmentation des taux des roches magmatiques, et diminution des roches carbonatées.

L'étude morphoscopique à la loupe binoculaire (Cailleux et Tricart, 1963) est appliquée aux grains de quartz, pour les fractions comprises entre 315 microns et 2 mm. Elle est réalisée sur un fond noir afin de bien distinguer la forme et l'aspect des grains de quartz.

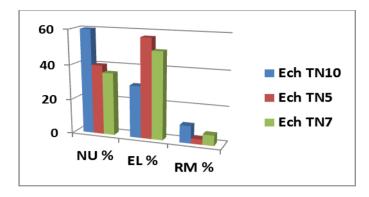


Figure 11: Evolution de l'aspect des grains au long de l'Oued Toudgha.

Les résultats sont reportés dans la figure 11 et ordonnés selon la nomenclature suivant : NU - Grains non usés ; EL - Grains émoussés luisants ; RM - Grains ronds mats.

Au niveau de l'amont (TN10), les grains sont peu usés et présentent des formes anguleuses et des aspects luisant ou mat (NU dominant). Plus bas (TN5 et TN7) les grains montrent une usure plus marquée avec une majorité de grains de type EL à l'aspect de surface très poli, brillant ou luisant. Ils résultent d'une longue usure mécanique dans l'eau.

Pour l'échantillon TN7, localisé après la confluence entre l'Oued Toudgha et l'Oued Taghia, les grains présentent deux aspects différents luisant et mat, ce fait est expliqué par l'origine différente des sables alimentant la station de prélèvement TN7 (alimentation par des affluents secondaires).

D'après le fig.11, les grains non usés diminuent de l'amont vers l'aval, cette variation s'expliquerait par le transport des sédiments ; les grains non usés perdent leurs caractères avec le transport aquatique. Réciproquement, les grains émoussés luisants augmentent. Les grains ronds mats sont toujours peu abondants et traduiraient un apport éolien.

Les grains de quartz destinés à l'étude exoscopique ont été sélectionnés à la loupe binoculaire et la méthode utilisée à l'identification est celle développé par [10]. L'analyse des grains de quartz confirme les constatations faites par l'étude morphoscopique qui révèle la dominance des grains émoussés.

En général, les grains de quartz ont été transportés par l'eau. Les grains émoussés luisants, présents surtout dans la partie distale du cours d'eau, sont charriés à partir du sable d'âge Paléogène. Pendant la précipitation, l'eau piégée dans les dépressions devient très concentrée en silice et du fait de l'évaporation (augmentation de température), les précipitations siliceuses de différentes formes se mettent en place (cristaux et globule de silice).

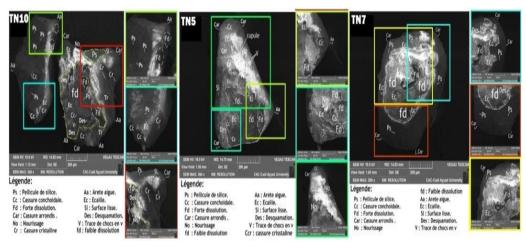


Figure 12: Evolution de l'aspect des grains au long de l'Oued Toudgha.

Echantillon TN10 en amont du bassin : grain anguleux : Le premier environnement d'évolution correspond à un milieu torrentiel à très forte énergie se traduisant par de nombreuses cassures conchoïdales affectant toute la surface du grain (Fig.12). Suivi d'une immobilisation au niveau d'un horizon pédologique sursaturé en silice qui conduit à la formation d'une épaisse pellicule de silice en coulée qui recouvre complètement la surface du grain (arêtes, surfaces planes et cavités).

Par la suite, une forte dissolution se manifeste par des cavités essentiellement par une importante desquamation libérant une quantité d'écailles. Aussi un certain polissage des traces de chocs est observé.

Echantillon TN5: Grain sub-anguleux: Le milieu fluviatile torrentiel se traduit par des cassures conchoïdales qui sont réalisées par une forte énergie de torrent à cause des chocs entre les grains (Cc) (Fig. 12). Le déplacement du grain dans un milieu fluviatile de forte à moyenne énergie provoque la dissolution de la silice (le mélange des eaux favorise la diminution de la teneur en silice dans le milieu), avec une forte usure mécanique et un brassage qui guide à l'arrondissement des contours du grain (Fig. 12). Suivi d'un niveau pédologique. La baisse de l'énergie hydraulique provoque l'immobilisation du grain donc la formation d'écailles sur la surface du ce dernier et son stabilité, ce milieu permet la formation d'une pellicule de silice qui vient postérieurement de toutes les structures précédentes,

Echantillon TN7: Grain émonsé luisant: Les restes d'une pellicule de silice amorphe recouvrant toute la surface de grain sont observée (Fig.12), sauf au niveau des zones de contact avec les autres grains (contours du grain). Ces caractéristiques indiquent une altération chimique au sein de la roche mère suivie d'une importante dissolution par desquamation de la pellicule de silice initiale. La desquamation libère une grande quantité d'écailles par attaque de toute la surface du grain. Ce phénomène s'est réalisé en milieu subaquatique, avec un fort brassage ce qui donne un bon mélange des eaux et donc la sous-saturation en silice reste la caractéristique du milieu d'évolution. Cette dissolution contribue fortement à l'arrondissement des contours en provoquant la forme subarrondie du grain de quartz.

Minéralogie des sédiments d'oued Toudgha

Pour la minéralogie des argiles, nous avons utilisé la méthode mise au point par [7]. La détermination du cortège minéralogique des sédiments s'est faite par diffractométrie pour la fraction fine et par analyse à la loupe binoculaire pour la fraction grossière. La figure 13 présente un diffractogramme dont les pics correspondent aux différents minéraux des 3 échantillons analysés : (E3, E16, A23) :

- E3 : Spectre de diffraction de la fraction fine en amont ;
- E16 : Spectre de diffraction de la fraction fine de la partie centrale du bassin ;
- A23 : Spectre de diffraction de la fraction fine en aval.

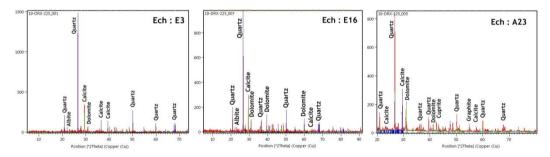


Figure 13: Spectre de diffraction de la fraction fine des échantillons (E3, E16, A23).

Le spectre de diffraction de l'échantillon E3 (amont du bassin) présente un cortège minéralogique qui se compose de calcite, dolomite, quartz et albite. L'analyse de la fraction grossière à la loupe binoculaire met en évidence un cortège minéralogique qui se compose de quartz, feldspaths et autres. Le spectre de diffraction de l'échantillon A23 (aval du bassin) présente un cortège minéralogique qui se compose de quartz, calcite, dolomite, cuprite et graphite. La fraction grossière des sédiments présentent un cortège minéralogique qui se compose de quartz, feldspaths, calcite, biotite et autre. Le quartz, très abondant, a une proportion de 50 %. La calcite est le second minéral. Cette composition minéralogique montre des différences entre la partie amont située dans le Haut-Atlas carbonatés (dolomie, calcaires) et la partie aval située dans l'Anti-Atlas, caractérisé par des minéraux pouvant provenir des altérites des roches du socle précambrien (roches volcaniques et plutoniques). L'étude des minéraux non argileux et celle des phases argileuses, s'accordent pour montrer que les sources des sédiments du bassin versant de l'Oued Toudgha sont principalement les grès et des schistes ainsi que des formations carbonatées et magmatiques.

Traitement des images satellitaires: Selon [9] la détection des changements des zones peut se faire en observant à des dates différentes une même zone afin de comprendre l'évolution temporelle de cette dernière. Plusieurs études [3]; [6]; Tanina et al., 2013) ont montré que l'évolution de l'occupation du sol est liée à des facteurs, soit topographiques, climatiques, la

nature des sols et aussi anthropiquen, l'analyse des images Landsat à différentes époques nous a permis de suivre l'évolution des formations végétales naturelles dans le couloir de la vallée d'Oued Toudgha. L'objectif est de mettre en évidence le changement spatio-temporel des groupements végétaux, l'évolution démographique et l'occupation du sol dans la zone.

Le processus d'interprétation des images a été le suivant : identification visuelle des classes d'occupation du sol par la classification supervisée. La précision a été validée par la connaissance de terrain à l'aide des images Google EarthTM. L'image prise en 1985 montre une distribution moins dense de la végétation (couleur rouge) le long des rives des oueds et dans quelques autres endroits vers l'aval, relativement à l'image Landsat de 2019 qui montre une distribution dense et élargie due soit à l'exploitation des nappes aux voisinages des oueds soit par l'utilisation directe des eaux superficielles (précipitation). Ceci avec une évolution remarquable de l'espace bâti résultant d'une dynamique de l'urbanisation au sein de la plaine. La classification multi-spectrale des images Landsat par maximum de vraisemblance (Fig. 15A-B) permet une bonne identification des différentes classes avec une précision globale satisfaisante. Les surfaces de végétation (couleur verte) ont cru de plus de 17,31km², la zone urbaine (couleur noire) s'est développer de 9,08km² pendant ces 34 années. De 1985 à 2019 on déduit que la végétation au Sud du Haut-Atlas central s'est développée de même que celles des surfaces bâties.

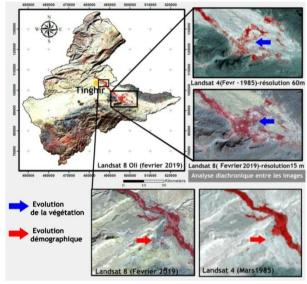


Figure 14: Analyse diachronique entre les images Landsat de 1985 et 2019 au voisinage de l'Oued Toudgha.

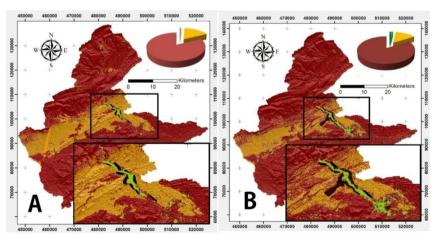


Figure 15 : A : carte d'occupation du sol du bassin en 1985 pour l'image Landsat 4 TM. B : carte d'occupation du sol en 2019 pour l'image Landsat 8 Oli.

Tableau 3 : Evolution de l'occupation du sol entre 1985 et 2019 au bassin versant de l'Oued toudgha

Classes	Surface(km²)		%	
Année	1985	2019	1985	2019
Zone batis	4.42	13.50	0.19	0.59
Végétation	15.61	32.92	0.68	1.43
Sol nu (sédiments)	385.14	324.14	16.71	14.07
Substratum (roches)	1899.29	1933.90	82.42	83.92
Total	2304.46	2304.46	100	100

Disscussion générale :

De la source de l'oued Toudgha jusqu'à l'aval, l'évolution des indices granulométriques montre une variation brutale d'un échantillon à l'autre, il n'y a pas d'évolution franche. Cette évolution anarchique peut être expliquée par :

- La variation de la compétence de l'oued lors du dépôt des sédiments. Elle est forte pour des dépôts grossiers et faible pour des dépôts de sédiment fin. L'hydrodynamisme est influencé par la pente élevé de l'oued à l'amont ainsi que le climat (les crues).
- La proximité des formations géologiques sources des sédiments. Les dépôts de l'amont sont en général grossiers donc peu évolués parce qu'ils sont proches des formations carbonatées du jurassique. Cependant certains échantillons de l'amont ont un excès de sédiments fins dans les classes granulométriques. Ceci peut s'expliquer par un apport des formations silto-argileuses non loin des sites de prélèvement (érosion des berges).
- Apport des affluents et des torrents. Il est noté que les échantillons prélevés après les confluences du chenal principal avec les affluents montrent une augmentation de la fraction grossière ou fine selon la nature de l'apport de l'affluent et ou du torrent. Les échantillons GH1 et GH2 de l'affluent d'Ichem, TN4 de l'affluent Imider, chargent l'oued Toudgha en sédiments grossiers en provenance des grès du paléozoïque, et des roches magmatiques du précambrien et paléozoïque.

D'une manière générale, la loi de l'affinité granulométrique et du meilleur classement des sédiments d'un cours d'eau, de l'amont vers l'aval [14] n'est pas respectée, car de l'amont vers l'aval, les sables ont un classement anarchique. La variation spatiale des indices granulométriques démontre que ce n'est pas le même stock de sédiment qui est transporté de l'amont à l'aval. Ce dernier est influencé par des apports des formations préexistantes érodées à la traversée de l'oued et aussi les apports des différents affluents. La pente, la morphologie de l'oued et le climat influencent le type de dépôt en jouant sur la compétence de l'agent de transport. L'étude des indices granulométriques nous a donc permis à ce stade de suivre l'évolution des dépôts alluviaux et de les caractériser de point de vue granulométrique au niveau de l'Oued Toudgha. Les variations morphologiques et de l'aspect des grains de quartz suggère que le stock sableux provient de diverses origines. Du fait de la diminution des quartzs anguleux au profit des émoussé luisant, on conclut qu'une partie des sables provient de la source de l'oued. Compte tenu de la prépondérence de l'aspect peu luisant des grains de quartz à l'amont, notre analyse permet de caractériser l'autre partie des sables de l'oued Toudgha, comme résultant d'un dépôt éolien ou bien d'un dépôt fluviatile où les quartz ont subi un phénomène de nourrissage (silicification). Dans le cas d'un dépôt éolien, les grains sont remaniés des fomations gréseuses du tertiaire qui abondent l'oued. Les quartzs ont été façonnés par le vent avant leur sédimentation, qui est d'ailleurs confirmé par la présence de grains arrondis mats à l'amont caractéristique des sables éoliens avec quelques fois une teinte rougeâtre, résultat de la ferruginisation des sables. Ceci peut également expliquer l'abondance des grains émoussés peu luisant dans cette partie. Ceux ayant une couleur propre pourraient aussi provenir d'une action de vent du quaternaire. Cependant, de l'amont vers l'aval, il y a une diminution du pourcentage des ronds mats et parallèlement une augmentation des émoussés luisants qui indique la diminution des apports latéraux et la transformation des grains provenant de la source. Selon Cailleux (1963), les «Emoussés-Luisants» sont caractéristiques de longs transports en milieux aquatiques continentaux (rivières, fleuves). Leurs aspects luisants montrent qu'ils ont subi un transport en milieu aqueux.

Le cortège pétrographique des galets est dominé par les galets de roches sédimentaires suivi des roches magmatiques et enfin des roches métamorphiques. Les galets des roches sédimentaires qui tapissent le lit du cours principal du Toudgha, ont une source principalement locale (haut Atlas central). Alors que les galets des roches magmatiques proviennent essentiellement d'une source lointaine (massif de l'anti-atlas). Ceci peut être aussi confirmé par les résultats de l'étude morphométrique.

Les minéraux argileux peuvent aussi être utilisés comme marqueurs dans la détermination des zones sources de sédiments. Ils devraient, aussi, avoir la particularité de donner des indices sur la majeure partie des formations lithologiques du bassin versant dont ils sont issus. Cela en partie, grâce à leur nature granulométrique fine leur permettant des transferts rapides et éloignés par le biais du ruissellement et du réseau de drainage. La bonne connaissance actuelle des modalités de transport, de dépôts et de transformations (dégradation ou aggradation) qui risquerait de les affecter, suivant les conditions du milieu; toutes ces considérations font que ce matériel soit très prisé et représente, aux mains de spécialistes, un très bon outil d'investigation [1].

CONCLUSION

L'interprétation des analyses de l'Oued Toudgha montre la variation de la distribution granulométrique des sables, cette variation est lié aux processus intervenant dans l'écoulement : irrégularité du fond, accélération de l'écoulement sur la face amont et ralentissement sur la face aval, le frottement sur le fond et de pente... Cette étude a permis de caractériser ces sédiments par des indices, et des courbes cumulatives. Elle a ainsi permis de remonter aux sources potentielles des apports des sédiments. Le tri et le classement des sédiments le long de l'oued ne sont pas réguliers.

L'évolution amont-aval des fractions granulométriques le long de l'Oued Toudgha, montre l'influence des apports des affluents secondaires et des versants sur la composition de la charge de fond. Les apports sédimentaires ne sont pas uniformes. La texture des dépôts est contrôlée par la nature des apports, et les conditions de transport contrôlent les caractères morphoscopiques des quartz et morphométriques des galets. Le fonctionnement hydrosédimentaire d'Oued Toudgha est le principal facteur de la variation de l'indice d'aplatissement et d'émoussé. L'analyse pétrographique montre une diversification des classes pétrographiques en amont et ceci est dû à l'érosion des différents terrains que le cours d'eau a traversés (les deux massifs de haut et Anti-Atlas caractérisés par des terrains a lithologies différentes). Les zones de provenance sont caractérisées par une pauvreté des classes pétrographiques, par contre les parties distales sont riches en galets divers. L'évolution amontaval de la pétrographie des galets montre une diminution des roches sédimentaire au profit des roches magmatiques. Comme pour les sables, la lithologie des galets du cours principal est influencée par les apports des affluents (Oued Target, OuedTaghya, Oued Ichem)

Le fait que les grains non usés diminuent vers l'aval s'expliquerait par le transport des sédiments dans un milieu aqueux, ces derniers perdent leurs caractères pendant le transport aquatique continental à la différence des grains émoussés luisants qui augmentent avec ce type de transport. Le pourcentage des grains ronds mats augmente par l'influence de l'action éolienne. Les grains de quartz confirment ces derniers résultats et attestent de la dominance des émoussés. Certains grains ont une histoire plus complexe. Dans un premier temps, les grains ont connu un transport par le vent, puis ont séjourné dans un milieu aquatique (effacement total ou partiel des cupules et des traces de choc par le vent sur la surface des grains émoussés).

L'étude diachronique de la dynamique de l'occupation du sol en utilisant la classification supervisée des images satellitaires sur une période de 34 années (1985-2019) a montré des changements notables des utilisations des terres au niveau de la vallée de l'Oued Toudgha. Ces techniques de télédétections pour l'évaluation de la dynamique de l'occupation des sols ne sera utile que si elle est répartit dans l'espace et dans le temps.

Références

- Amil M. (1992). Bassin versant du Nekor recherche des zones sources d'envasement de la retenue du barrage M.B.A El Khettabi (maroc). Thèse 3e cycle, Univ. Dakar, 226p.
- Anderson (2007). Sand Sieve Analysis. In Pamela J. W. Gore "Historical Geology Online Laboratory Manual". Department of Geology. Georgia Perimeter College. 278 p.
- Bigot, T. Yao Brou, J. Oszwald, A. Diedhiou, (2005). Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales, Sécheresse, 16 (1): 5-13
- 4. Boys M (1960). Morphométrie des galets de quartz en Guyane française.14-23 p.
- 5. Cailleux, Tricart (1963). Initiation à l'étude des sables et galets. Ed. C.D.U.Paris.
- 6. Cecchi, F. Gourdin, S. Koné, D. Corbin, J. Etienne, A. Casenave, (2009). Les petits barrages du nord de la Côte d'Ivoire : inventaire et potentialités hydrologiques, Sécheresse 20 (1) : 112-22.
- 7. Holtzapffel T. (1985). Les minéraux argileux ; préparation, analyse diffractométrique et détermination 136 p.
- 8. Labied, M (2009). Granulométrie d'un cours d'eau en climat semi-aride exemple de l'oued R'dat.
- 9. Lagabrielle, E., Metzger, P.Martignac, C., Lortic, B. et Durieux, L., (2007). Les dynamiques d'occupation du sol à la Réunion (1989-2002). Mappemonde, vol.86, n°2-2007, 23 p.
- 10. Le ribault, L. (1977). L'exoscopie des quartz. Edition Masson.150 p.
- 11. Pye K. et Blott S.-J (2004). Particle size analysis of sediments, Forensic Science International Volume 144, Issue 1, 11 August 2004, Pages 19-27 p.
- 12. Riviere, A (1977). Méthodes granulométriques. Techniques et interprétations. Coll. Techniques et méthodes granulométriques. Masson édition, Paris, 170 p.
- 13. Saidim, (1978). Carte géologique du Maroc. Échelle1 /500000.feuille de Ouarzazate.serv.Geol.Maroc.
- 14. Sternberg, H. (1875). ÜberLängen-und Quer profil geschiebeführender Flüsse, Zeitschriftfür Bauwesen, 25: 483-506.
- 15. Michard, A. (1976). Eléments de géologie Marocaine. Notes et Mémoire. Services Géol. Du Maroc, n°252.
- 16. Vatan, A (1967). Manuel de sédimentologie. Ed. Technique. 333 p.16.
- 17. Verger, F. (1963). Les techniques d'analyse granulométrique. Mémoires et documents, tome IX, fasc. 1, CNRS, 64 p.

Fayech Dorsaf and Tarhouni Jamila

Evaluation de tendances et de la variabilite de temperature en mediterranee :

Cas du Sud-Est Tunisien

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,

Vol. (vi), No.1, Avril 2021, pp. 21-29

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

www.jiste.org



Evaluation de tendances et de la variabilite de température au Sud-Est Tunisien

Fayech Dorsaf¹, Tarhouni Jamila¹

Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau (LSTE), Institut National des sciences Agronomiques de Tunis, 43, Avenue Charles Nicolle 1082 -Tunis- Mahrajène TUNISIE

Résumé

La Tunisie est l'une des régions les plus vulnérables au changement climatique dans le monde en particulier au changement de la température. Dans le présent travail la variabilité de la température annuelle et saisonnière a été étudiée durant la période 1974-2014 la période annoncée disserve les stations de Gabès, Médenine et Tataouine situées dans le Sud-Est tunisien. Des tests statistiques de détection de rupture, la régression linéaire, l'anomalie de la température annuelle et l'évolution des vagues de chaleur ont été utilisés pour évaluer la tendance de température. Les résultats ont permis de conclure à une hausse significative des températures moyennes annuelles sur les trois stations de la zone d'étude à un seuil (&=0.05). La station littorale de Gabès a connu l'augmentation la plus importante. Le taux d'augmentation enregistré à Gabès est de 0,0769°C/an. Il est deux sois plus important qu'à Médenine et Tataouine. L'application des tests statistiques de détection de rupture pour l'anomalie annuelle de température pas clair a conduit à détecter une rupture significative en 1995 pour les stations de Gabès et de Tataouine. La température saisonnière est caractérisée par une bausse significative dans la région de Gabès durant les saisons de printemps (de 3,8°C), d'automne (de 3°C) et d'été (de 3,4°C). Dans les stations de Médenine et de Tataouine la hausse est significative en automne. Elle est respectivement de 3,6°C / an et 2,8°C / an. Dans la station de Médenine la T_{min} a augumenté significativement tandis que la T_{min} a des fluctuations thermiques, les vagues de chaleurs ont été déterminées. Gabès a connu la hausse du nombre des extrêmes thermiques la plus importante (3,8 vagues/an) suivie de Tataouine (2.5 vagues/an) et de Médenine (2 vagues/an).

Mots clés : salinité, Sine Saloum, facteurs anthropiques, facteurs climatiques, nappe phréatique

Assessment of trends and variability in temperature in the Mediterranean region: Case of The South-East of Tunisia

Abstract

Tunisia is one of the sensitive regions to climate variation particularly to temperature changes in the World. In this study, trends in temperature at annual and seasonal time scales for the periods of 1974-2014 were examined for the southeast of Tunisia. Non-parametric tests for rupture detection, linear regression, temperature anomaly and the number of heats weaves were used to determine climatic trends. The results showed that there is a positive statistically significant (\$\approx=0.005\$) trend of temperature in the study area during the period 1974-2014. The increase has been maximum (0.0769°C/year) in Gabès. It is twice as high as in Médenine and Tataouine. A rupture was reported in 1995 for Gabes and Tataouine stations. On the other hand, results showed an increase of heat weaves number. The increase was about 3,8 heat weaves/year in Gabès, while it was about 2 and 2,5 heat weaves/year in Médenine and Tataouine respectively. In seasonal time scale, results reported an increasing trend statistically significant in Gabès in spring (3,8°C), autumn (3°C) and in spring (3,4°C). In Tataouine and Médenine the increase was significant in autumn. It was about 3,6°C et 2,8°C respectively in Tataouine and Médenine.

Key Words: Trend, variability, temperature, anomaly, tests for rupture detection, heat weave

Page 21

¹ Corresponding author: <u>fayech.dorsaf@yahoo.fr</u>

INTRODUCTION

La température est l'indicateur le plus important de changement climatique (CC) vue qu'elle est directement liée à l'équilibre énergétique de la planète [1]. Les chercheurs ont accordé un grand intérêt à l'évaluation de cet indicateur en vue de mettre en exergue ses conséquences environnementales et socioéconomiques. La hausse de température touche considérablement les pays méditerranéens qui sont considérés parmi les zones les plus affectées par le CC dans le monde [2]. Selon le MedEcc (2019) [3], cette hausse y a dépassé la moyenne mondiale de 20%. En 2002, Giorgi [4] a analysé la variabilité et les tendances des températures de surface de l'air sur l'ensemble de la partie continentale bordant la mer Méditerranée. Une augmentation de la température annuelle moyenne d'environ 0.75°C sur la période 1900-1998 a été mise en évidence avec des moyennes de températures de plus en plus élevées. Cette augmentation est évaluée de 0,7°C dans le Nord de l'Algèrie sur la période 1980-2009 [5], de 1°C en France (Bourgogne) (1961-2011) [6] et en Grèce [7]. Au Maroc aussi, Sebbar et al. (2012) [8] et Amraoui et al. (2011)[9] ont signalé un réchauffement du climat. En 2008, Hassani [10] a mené une étude comparative des normales de température pour différentes stations météorologiques maghrébines (Alger, Oran, Annaba, Casablanca, Agadir, Ouarzazate, Tunis et Gabès). Il a conclu à une tendance à la hausse des températures moyenne annuelles pour les stations d'étude sélectionnées. Durant les trois dernières décennies du 20éme siècle, plusieurs auteurs ont retenu que les températures extrêmes ainsi que les vagues de chaleur (intensité, nombre et durée) ont subi une augmentation dans la région méditerranéenne ([11],[12],[13]). En Tunisie très peu d'études qu'ont traité la récente variabilité climatique [14]. L'objectif de ce travail et de déceler d'éventuelles fluctuations thermiques dans le sud est tunisien.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Données de la température : Les données de la température journalières sont fournies par l'Institut National de la Météorologie (INM) pour les stations métrologiques de Gabès, Médenine et Tataouine (figure 1) pour la période 1976-2015. Les coordonnées géographiques sont données par la table 1.



Figure 1 - Localisation des stations méteorologiques de Gabé, Médenine et Tataouine

Table 1- Coordonnées des stations météorologiques étudiées

	Gabès	Médenine	Tataouine
Longitude	10°01' E	10°51' E	10°45' E
Latitude	33°88' N	33°35' N	32°93' N

Méthodologie

Des analyses statistiques et graphiques ont permis de caractériser les variations de la température moyennes annuelles (min et max) ainsi que les températures saisonnières. L'analyse de la dynamique et de la tendance de la température a été effectuée en se basant sur la détermination de l'anomalie normale de température et l'application des tests de détection de rupture. Les tests appliqués sont les tests de Pettit, de Huber, Lee et Heighen. Nous proposons ensuite d'évaluer l'ampleur des fluctuations thermiques en déterminant les vagues de chaleurs pour suivre dans la suite leur évolution.

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (vi) - Numéro 1 – Mars 202'

Dorsaf and Tarhouni / JISTEE, Vol. (vi), No. 1, Avril 2021, pp. 21-29

Mise en évidence des vagues de chaleur : Une vague de chaleur ou «canicule» est un paroxysme de chaleur [15]. Elle exprime un épisode de forte chaleur dite exceptionnelle. Selon l'OMM la «vague de chaleur», est définie comme étant «un réchauffement important de l'air, ou une invasion d'air très chaud sur un vaste territoire, généralement de quelques jours à quelques semaines». Les seuils de température qui définissent la vague de chaleur ainsi que leur durée varient d'un pays à un autre en fonction des spécificités des climats. Nous retenons dans ce travail la définition de la vague de chaleur adaptée à la Tunisie et admise par l'INM dans l'un de ses bulletins climatologiques mensuels (septembre 2014), qui définit une vague de chaleur comme étant une succession de 3 jours avec Tmax ≥ 33°C et Tmin ≥ 20°C [16].

Détermination des anomalies de température : L'anomalie de température est considérée comme le premier indicateur de surveillance du climat [17]. L'anomalie de température annuelle est définie par l'écart entre la température moyenne de l'année considérée par rapport à la moyenne interannuelle [18]. Le suivi de l'anomalie de la température est indispensable pour évaluer la variabilité interannuelle et les changements engendrés par les activités humaines.

Tests de détection des ruptures : Une rupture peut être définie de façon générale par un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu [19]. Statistiquement, une fluctuation de température peut être marquée à une date donnée par une rupture ou un changement de moyenne au sein de la série chronologique [20]. Nous avons donc cherché, à l'aide des algorithmes proposés par le logiciel Khronostat de l'IRD [21], à détecter d'éventuelles ruptures dans les séries de températures relatives aux différentes stations de Gabès, Médenine et Tataouine sur la période 1976-2015. La détection des ruptures dans les séries de données de la température repose sur le test de Pettitt, la statistique U de Buishand, la procédure bayésienne de Lee et Heghinian et la segmentation de Hubert. Pour l'ensemble de ces méthodes, la non-stationnarité des séries chronologiques est recherchée à travers un changement de moyenne.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Etude de la variabilité de la température annuelle

Variations annuelles de la température

Durant la période d'étude (1976-2015), les variations interannuelles de la température de l'air (Figure 2) montrent une hausse significative des températures moyennes sur les trois stations d'étude à un seuil α = 5%. Pour la station de Gabès, la température moyenne annuelle varie de 18,8 et 21,5°C avec un taux d'augmentation de 0,514°C/an. De même, pour la station de Tataouine, la température de l'air enregistrée est de 19,4°C en 1975 et de 21,3°C en 2015, soit un taux d'augmentation de 0,0526°C/an (R²=0,446) qui est similaire au taux d'augmentation obtenu pour la station de Gabès.

La température moyenne de la station Médenine varie de 19,7°C à 21,6°C; d'où une augmentation de 0,048°C/an (R²=0,5867). Quant à la station de Tataouine, la température de l'air enregistrée est de 19,4°C en 1975 et de 21,3°C en 2014, soit un taux d'augmentation de 0,0523°C/an qui est similaire au taux d'augmentation obtenu pour la station de Gabès. Ce résultat sur le taux d'augmentation de la température est conforme aux estimations faites par la GIZ et le Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche (Tunisie) en 2007 [22]. En effet, le GIZ et MARH ont estimé une hausse moins importante de 0,047°C/an (scénarios de la famille A2) et de 0,056(scénarios de la famille B2) [22].

Les résultats obtenus dans ce travail révèlent que la station littorale de Gabès a enregistré l'augmentation significative (R²=0,6302) la plus forte.

Anomalie de la température

Les anomalies relatives aux stations de Gabès, Médenine et Tataouine sont portées sur la figure3. Ces courbes révèlent une hausse des anomalies selon une relation linéaire significative à un seuil de 5% durant la période 1976-2015. Par ailleurs, les histogrammes d'évolution des normales de températures (anomalies) présentent des points d'inflexion thermique. Ce point est observé en 1994 pour Gabès et Médenine et en 1995 pour Tataouine. Ainsi on distingue deux périodes : d'une part, 1976-1993 au cours de laquelle les anomalies sont négatives et d'autre part, la période 1994-2015 des anomalies positives. Une tendance à l'augmentation des anomalies thermiques positives a été enregistrée pour les trois stations avec changement significatif à partir de 1995-1996 (Figure 3; Table 2).

Tataouine est caractérisée par les anomalies les moins importantes durant la période d'étude. Les valeurs varient de -2,35 à 1,28°C. Avant 1996, Médenine est caractérisée par les anomalies les moins importantes -2,4 à 0,2°C alors qu'après 1996 c'est la station de Gabès qui a enregistrée les anomalies les plus importantes -0,22 à 2°C. Ces résultats prouvent l'accélération du réchauffement dans le Golfe de Gabés.

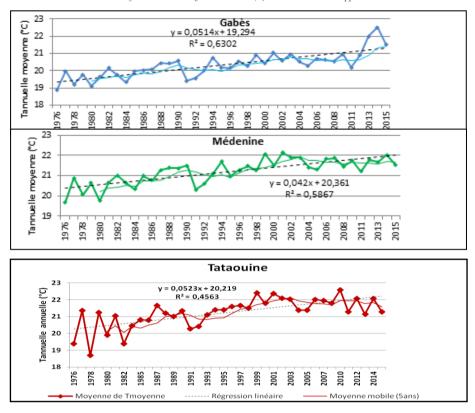


Figure 2- Variation des températures moyennes dans les trois stations de Gabés, Médenine et Tataouine

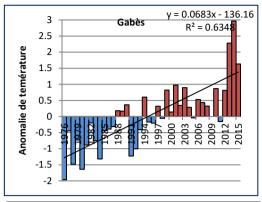
Table 2 - Anomalies de température avant et après 1996 dans les trois stations de Gabès, Médenine et Tataouine

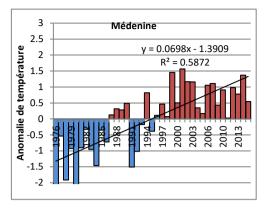
Anomalie de température	Gabès	Médenine	Tatatouine
Avant 1996	-1,5 à -0,1	-2,4 à 0,2	-0,1 à -3,6
Après 1996	-0,22 à 2	-0,9 à 2,1	0,2 à 1,5

Détection des ruptures: Nous avons effectué les tests de rupture sur les séries chronologiques des températures moyennes de 1976 à 2015. L'objectif principal étant de vérifier si le point d'inflexion observée correspond à une évolution continue avec fluctuations interannuelles ou plutôt à une rupture liée à évolution du climat. Les résultats de ces tests sont présentés dans la table 3. On signale que seulement les années de rupture sont détectées par au moins deux tests vont être retenues. L'examen de ces résultats permet de détecter la présence d'un changement de moyenne dans les séries de températures de deux stations Gabès et Tataouine située entre 1993 et 1995 (1% < seuil d'erreur <10%) tandis que aucune date ne peut être confirmée pour la station de Médenine.

Table 3- Résultats d'application des tests de détection de rupture sur les séries des Tmoy annuelles sur les stations de Gabès, Mèdenine et Tataouine sur la période 1976-2015

	Gabès	Médenine	Tataouine
Pettit (à 99 ;95 et 90%)	1995	1993	1995
Hubert (1%)	1993/1995	1976/1985/1999	1993/1995
Lee et Heighen	Absence de rupture	1986	Absence de rupture
Buishand (à 99 ;95 et 90%)	Absence de rupture	Absence de rupture	Absence de rupture





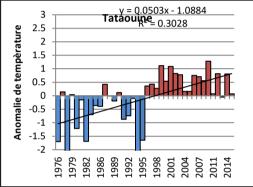


Figure 3 - Anomalie de température des stations Gabès, Médenine et Tataouine

Variabilité des Tmin et Tmax: L'analyse séparée de l'évolution interannuelle, depuis 1976, des températures annuelles maximales (Tmax) et minimales (Tmin) pour les 3 stations (figure 5.4) témoigne d'une tendance positive généralisée à l'ensemble de Sud-Est tunisien, même si les courbes de tendance sont plus ou moins significatives (figure4, table 4) du point de vue statistique, d'une station à autre. S'agit t il d'une augmentation des températures de jour ou de nuit? la réponse à cette question permet de cerner les modalités de cette augmentation.

Table4 - Tendances et signification statistique de Tmin,Tmax et Tmoy (test de Fisher avec ∝=5%)

	Gabès	Médenine	Tataouine
Tmoy	(+) S	(+)S	(+)S
Tmin	(+)NS	(+)S	(+)NS
Tmax	(+)S	(+)NS	(+)NS

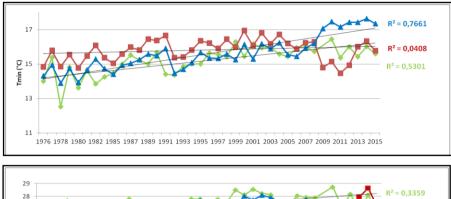
NS: non significative,S:significative, (+): tendance à la hausse,(-): tendance à la baisse

Les températures min et max ont enregistré une augmentation dans les trois stations:

Entre 1976 et 2015: Sur le golfe de Gabès, la température max a varié de 22.3 à 27.2°C à raison de 1,2°C/décennie, et de 24,8 à 26,9°C à Tataouine à raison de 0,49°C/décennie et de 22,3 à 24,4 sur la station de Médenine à raison de 0,52°C/décennie. Dans les stations de Médenine et de Tataouine l'augmentation est statistiquement insignifiante en se basant à un seuil de 5%. Quant aux températures minimales, une augmentation a été enregistrée à partir des données relatives aux trois stations mais avec une amplitude moins importante que l'augmentation des Tmax durant la période d'étude. Les températures enregistrées sont de 14,8 à 15,8°C à Gabès, de 14 à 15,6°C à Tataouine et de 11,8 à 15°C à Médenine.

Il en ressort la Tmin n'a pas trop augmenté à Gabès, néanmoins, ses valeurs restent les plus élevées dès le début de la période d'étude comparativement aux deux autres stations. D'autre part, on remarque qu'à la fin de la période d'étude les valeurs de Tmin sont devenues très proches. Nous avons également constaté que la hausse de la température journalière minimale dans

les trois stations d'étude est relativement moins prononcée ce qui est en conformité avec les prévisions du GIEC [23] ce qui pourrait être expliqué par le fait que la température diurne est directement liée à l'énergie solaire, elle est donc plus sensible à l'augmentation en condition d'énergie minimale. La hausse des températures (min et max) est conforme à leur évolution dans les régions de l'Afrique du Nord et en Algérie mais aussi à la situation mondiale ([8], [9]).



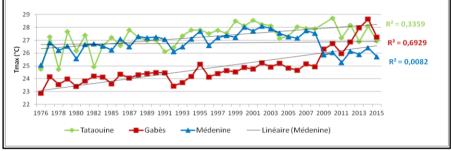


Figure 4- Variations des températures Tmin et Tmax dans les gouvernorats de sud-est tunisien (1976-2015)

Vagues de chaleur :Le nombre des vagues de chaleur a augmenté dans les trois stations avec un nombre maximal enregistré sur la station de Tataouine (Figure 5). Au début de la période d'étude, Gabès, près de la mer, connaît les vagues de chaleur les moins nombreuses : jusqu'à 1998, leur nombre ne dépasse pas deux par an. À partir de cette date (1998), elles deviennent beaucoup plus fréquentes et même, à partir de 2011, plus fréquentes qu'elles ne le sont dans les stations continentales de Médenine et de Tataouine à partir de 2011. On peut donc en conclure que la température sur le Sud-Est tunisien connaît une évolution récente marquée par un nombre de vagues de chaleur est de plus en plus important sur les trois stations. Ces résultats s'accordent avec ceux trouvés par Trabelsi et Ben Boubaker (2014) qu'ont prouvé une augmentation des épisodes à forte chaleur sur la station de Gabès du rivage tunisien. Cette augmentation a été enregistré à partir de 1993 pour une période d'étude allant de 1976 à 2006 [10]. L'augmentation est évaluée sur Gabès, Médenine et Tataouine est respectivement de 1,8;1 et 1,5 vagues/décennie.

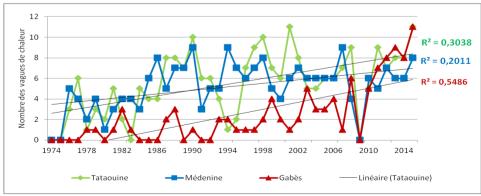


Figure 5- Evolution de nombre de vagues de chaleurs dans les 3 gouvernorats de sud-est tunisien

Variabilité saisonnière de la température: Les fortes chaleurs représentent, sous climat méditerranéen, l'empreinte principale de la saison estivale. Toutefois, des épisodes de forte, voire même de très forte chaleur, risquent de se produire au cours des saisons intermédiaires. Raison pour la quelle on va s'intéresser à l'étude de l'évolution des températures saisonnières interannuelle sur les trois stations en été, en printemps et en automne. Les variations interannuelles des températures moyennes saisonnières sont présentées sur la figure 6 et dans la table 5. L'augmentation la plus forte est enregistrée pour le printemps quelle que soit la station. L'augmentation maximale concerne Gabès et elle est évaluée de 3,8°C entre 1976 et 2015 L'augmentation est respectivement de 2,0°C et 2,5°C dans les stations de Médenine et Tataouine. En ce qui concerne l'été, l'augmentation n'est significative qu'à Gabès: 3,4°C entre 1976 et 2015. Pour l'automne, la hausse des températures est significative (au seuil de 5%) aux trois stations. Cette hausse est de 3°C, 3,6 et 2,8°C respectivement à Gabès, Médenine et Tataouine entre 1976 et 2015. On note aussi que l'augmentation de température automnale est plus importante que l'augmentation des températures printanière et estivale. Elle est estimée de 0,7;0,8 et 0,4°C/décennie pour les stations de Tataouine,Médenine et Gabès respectivement. Cette importante augmentation automnale a été démontrée par Ben Boubaker et al. (2015) pour différentes stations du territoire tunisien durant la période 1950-2014 [11]

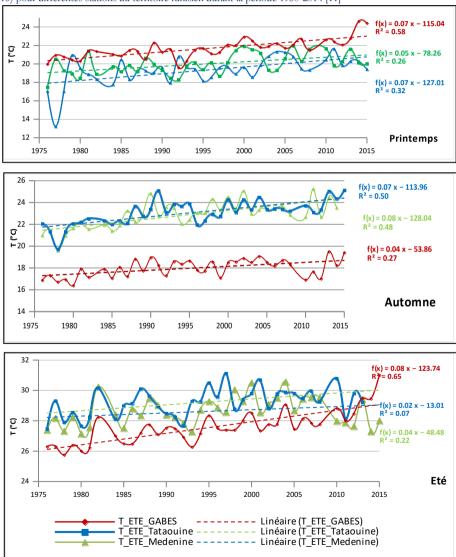


Figure 6 - Variations des températures moyennes saisonnières (en Printemps, en automne et en été)

Table 5 - Variations de la température moyenne saisonnière dans les trois gouvernorats de sud-est tunisien

	Gabès	Médenine	Tataouine
Printemps	0.6*	0.2	0.2
Automne	0.4*	0.5*	0.4*
Eté	0.6*	0.05	0.2

CONCLUSION

L'analyse des variations interannuelles de la température de l'air durant la période 1975-2014 ont permis de conclure à une hausse significative des températures moyenne sur les trois stations de la zone d'étude à un seuil (≈=0.05). Les résultats ont révélé aussi que la station littorale de Gabés a connu l'augmentation la plus importante. Le taux d'augmentation enregistré à Gabés est de 0,0769°C/an. Il est deux fois plus important qu'au Médenine et Tataouine. La détermination de l'anomalie de température a confirmé ces observations. En effet, l'amplitude de l'anomalie à Gabés était la moins importante au début de la période d'étude et elle a varié de (-1,5 à -0,1) et c'est à partir de 1994 (point d'inflexion apparent) que cette anomalie a dépassé celles de Tataouine et de Médenine (-0,2 à 2,2).

L'application des tests statistiques de détection de rupture n'ont pas conduit à détecter de rupture significative. La température saisonnière est caractérisée par une hausse significative dans la région de Gabès durant les saisons de printemps (3,8°C), d'automne (3°C) et d'été (3,4°C). Dans les deux autres stations (Médenine et Tataouine) la hausse était significative seulement en automne et qui était respectivement de 3,6°C et 2,8

Tenant compte de la significativité statistique, on peut retenir que la température minimale a augmenté dans la station de Médenine et que la T maximale a augmenté dans la station de Gabès.

La détermination du nombre des vagues de chaleurs sur les trois stations a prouvé que le climat thermique de sud est tunisien connait une évolution récente marquée par un nombre de canicules de plus en plus important sur les trois gouvernorats. Ce nombre a augmenté considérablement à partir de 1998. Ces résultats sont statistiquement signifiants pour (α =0.05)

La vitesse d'accroissement de nombre des extrêmes thermiques était 3,8/an vagues à Gabès contre une augmentation de 2 et 2,5/an vagues de chaleur respectivement à Médenine et Tataouine.

Références

- Fourier, J.B.J. 1827. Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaire, Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de l'Institut de France, tome VII, pp. 570604
- Seager, R., Osborn, T. J.; Kushnir, Y.; Simpson, I.R.; Nakamura, J.; Liu, H. 2019. Climate Variability and Change of Mediterranean-Type Climates. J. Climate, 32, 2887–2915, https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0472.1.
- Mediterranean Experts on Climate and Environmental Change (MedEcc). 2019. Risks associated to climate and environmental changes in the mediterranean region a preliminary assessment by the medecc network science-policy interface – 2019. https://ufmsecretariat.org/wp-content/uploads/2019/10/MedECC-Booklet_EN_WEB.pdf
- Giorgi, F.2002. Variability and trends of sub-continental scale surface climate in the twentieth century. Part I: observations. Clim Dvn 18: 675–691
- Taibi, S.; Souag, D.2011. Regionalization of drought in Northern Algeria using a standardized precipitation index (1936–2010). In: From prediction to prevention of hydrological risk in Mediterranean countries (E. Ferrari & P. Versace, Sci. Eds), 4th international workshop on hydrological extremes MEDFRIEND group, University of Calabria; EdiBios, Cosenza, Italia; 169–182.
- 6. Richard, Y.; Castel T.; Bois, B.; Cuccia, C.; Marteau, R.; Rossi, A.; Thévenin Toussaint, D.; H. 2014. Évolution des températures observées en Bourgogne (1961-2011). In: Bourgogne Nature 19, p. 110–117.
- 7. Maheras, P. 1980. Météorologie et climatologie de la Grèce. Méditerranée, 40(4), 87-89
- Sebbar, A.; Hsaine, M.; Foughrach, H. and al. (2012): Étude des variations climatiques de la région centre du Maroc. Actes du XXVème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie (Grenoble). ROME édit., p. 709-714.
- 9. Amraoui, L.; Adama Sarr, M.; Soto, D. 2011. Analyse rétrospective de l'évolution climatique récente en Afrique du Nord-Ouest. Physio-Géo, Volume 5 | -1, 125-142.
- 10. Traboulsi,M et Habib Ben Boubaker, « Fortes chaleurs et circulation atmosphérique associée autour de la Méditerranée orientale : cas du littoral tunisien et syro-libanais », Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement [En ligne], 14-15 | 2012, mis en ligne le 01 juillet 2014, consulté le 06 mars 2021. URL: http://journals.openedition.org/tem/1772; DOI: https://doi.org/10.4000/tem.1772
- 11. Ben Boubaker, H.; Nmiri, A.; Mrabti, M.; Ouechteti; L.: Tendance au débordement de la saison chaude sous climat méditerranéen chaud: exemple des canicules tardives automnales en Tunisie.XXVIIIe Colloque de l'Association

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (vi) - Numéro 1 – Mars 202'

Dorsaf and Tarhouni / JISTEE, Vol. (vi), No. 1, Avril 2021, pp. 21-29

- Internationale de Climatologie, Liège 2015 http://www.climato.be/aic/colloques/actes/ACTES_AIC2015/5%20Variabilites%20et%20aleas%20climatiques/068-BEN_BOUBAKER-427-432.pdf
- Hassani, M.I. 2008. Climat et ressources en eau au Maghreb. Tendances et impacts du changement global. International Conference - Groundwater and Climate in Africa, 24-28 juin 2008, Kampala, Uganda
- Fischer, E.M.; Schär, C. 2010. Consistent geographical patterns of changes in high impact European heatwaves, Nat. Geosci., 3(6), 398–403, doi:10.1038/ngeo866.
- Kuglitsch, FG.; Toreti, A.; Xoplaki, E., Della-Marta, PM.; Zerefos, CS.; Turkes, M.; Luterbacher, J. 2010. Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. Geophys Res Lett. 2010;37:5.
- Efthymiadis, D.; Goodess, C.M.; Jones, P.D. 2011. Trends in Mediterranean gridded temperature extremes and largescale circulation influences. Nat Hazard Earth Syst Sci. 2011;11:2199–2214
- Fayech, D.; Tarhouni, J. 2020. Climate variability and its effect on normalized difference vegetation index (NDVI)
 using remote sensing in semi-arid area. Modeling Earth Systems and Environment https://doi.org/10.1007/s40808020-00896-6
- 17. Besancenot, J.P. 1992. Risques pathologiques: rythmes et paroxysmes climatiques. Editions John Libbey, 413 pages.
- Ben boubaker, H. 2010. Les paroxysmes climato-thermiques en Tunisie : approche méthodologique et étude de cas. Climatologie, 2010, p. 57-87
- 19. Organisation Météorologique Mondiale (OMM) 2017. Directives de l'OMM sur l'élaboration d'un ensemble défini de produits nationaux de surveillance du climat. https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=20167#.YEO6om9Kjak
- 20. Kouassi, A.M.; Kouamé, K.F.; Koffi, Y.B.; Dje, K.B.; Paturel, J.E.; Oulare, S. 2010. Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Cybergeo: European Journal of Geography, document 513
- Fayech, D.; Tarhouni J. 2020. Variabilité et tendances pluviométriques dans le sud est tunisien. Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Numéro 1 - Septembre 2020 http://jistee.org/wp-content/uploads/2020/12/JISTEEv5N2-24December2020.pdf
- 22. Brou, Y. 1997. Analyse el dynamique de la pluviometrie dans le sud foreslier ivoirien: recherche de correlation entre les variables climatiques el les variables liees aux a Clil'i[(~s anthropiques. These de Doctorat, Universile de Cocody, Abidjan, Cote d'l'voire
- Boyer, J.F. 2002. Software Khronostat chronological series of statistical analysis. IRD UR2, Program 21 FRIEND AOC, Team UMRGBE Hydrology, University of Montpellier II, Ecole des Mines de Paris.
- GTZ; Ministère de l'agriculture et des ressources hydrauliques 2007. Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques. Cahier 3: Projections sectorielles.p.3-17.
- 25. GIEC. 2007. Changement climatique 2007.Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. GIEC, Genève, Suisse 103 pages.

Page 29

Kahouadji Selma, Boudghène Stambouli Sihem and Benabadji Noury

Etude de la germination des graines de Petit pois (Pisum arvense L.P.F.) espèce cultivée soumise aux traitements salés de Chlorure de sodium (NaCl) et de sulfate de potassium (K2SO4)

Iournal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,

Vol.(vi), No.1, April 2021, pp. 30-39

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



Etude de la germination des graines de Petit pois (Pisum arvense L.P.F.) espèce cultivée soumise aux traitements salés de Chlorure de sodium (NaCl) et de sulfate de potassium (K2SO4)

Kahouadji Selma 1, Boudghène Stambouli Sihem² Benabadji Noury 3 1

- (1,2), Doctorants, Faculté SNV/STU, Université de Tlemcen
- (3) Professeur, Faculté SNV/STU, Université de Tlemcen

Résumé:

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet de la salinité sur la germination du petit pois Pisum sativum, les graines sont mises à germer dans des boites de pétri à différentes concentrations de NaCl et de K2SO4 (1g/l, 2g/l, 3g/l, 4g/l, 5g/l, 6g/l, 7g/l, 10g/l) dans deux milieux à températures différentes (5°C du frigidaire et 20°C, température ambiante) pendant 30 jours.

Ce travail aussi comprend la croissance de graines semées dans les pots de végétation. Les résultats montrent que le nombre de feuilles du petit pois Pisum sativum les plus élevées atteignent 14 feuilles, elles sont obtenus dans le traitement (1g/l NaCl), 13 feuilles pour (1g/l, 3g/l K2SO4). Les autres concentrations (3, 10g/l de Na Cl) et (10g/l K2SO4) ne donnent pas le même résultat ce nombre de feuilles diminue dans ce traitement atteint respectivement 12 et 6 feuilles. Le petit pois traité par l'eau distillée (témoin 0g/l) permet d'obtenir 9 feuilles. Le maximum de germination est obtenu avec l'eau distillée (témoin) chez le petit pois dans les deux milieux .les graine de Pisum sativum ont réagit aux augmentations des concentrations croissantes et on peut dire dans les deux milieux (5°C et 20°C), elles ont aussi affiché des corrélations négatives. La température froide (5°C) semble ralentir la germination en particulier pendant les deux premières semaines.

Mots clés: germination, salinité, petit pois : Pisum arvense, NaCl (Chlorure de sodium), K2SO4 (Sulfate de potassium).

Study of peas germination (Pisum arvense L.P.F.) cultivated species subjected to salt treatments of sodium chlorure (NaCl) and of potassium sulfate (K2 SO4)

Abstract:

The objective of this study is to evaluate the effect of salinity on the germination of the pea Pisum sativum, the seeds are put to germinate in petri dishes at different concentrations of NaCl and K2SO4 (1g/l, 2g/l, 3g/l, 4g/l, 5g/l, 6g/l, 7g/l, 10g/l) in two media at different temperatures (5 ° C in the fridge and 20 ° C, room temperature) for 30 days. this work also includes the growth of seeds sown in the vegetation pots the results show that the number of leaves of the pea Pisum sativum the highest reaches 14 leaves, they are obtained in the treatments (1g/l NaCl) 13 leaves for (1g/l, 3g/l K2SO4).

the other concentrations (3.10 g/l of NaCl) and (10 g/l K2SO4) do not give the same result; the number of leaves decreases in this treatment reaches 12 and 6 leaves respectively, the pea treated with distilled water (0 g/l control) makes it possible to obtain 9 leaves, a relatively low figure.

Maximum germination is obtained with distilled water (control) in peas in both media. The Pisum sativum seed reacted to increases in increasing concentrations and it can be said in both media (5 ° C and 20 ° C), they also displayed negative correlations. The cold temperature (5 ° C) seems to slow germination especially during the first two weeks.

Key words: germination, salinity, peas, Pisum arvense, NaCl (Sodium chloride), K2SO4 (Potassium sulfate).

¹ Corresponding author: <u>benabadji.n@gmail.com</u>

INTRODUCTION

La production agricole dans le monde entier peut être limitée par une diversité de stress abiotique, notamment la salinité [1], [2], [3]. Environ 800 millions d'hectares de terre sont affectées par la salinité, ce qui représente environ 6 % de la superficie des terres de la planète et 20 % de la superficie cultivée dans le monde [4], [5]. La salinité du sol et de l'eau représente les principaux problèmes dans l'utilisation efficace des terres pour l'agriculture et affecte le rendement des cultures dans le monde entier et en particulier dans les régions arides et semi-arides [6], [7], [8]. la salinité des sols est due soit à une irrigation intensive des cultures avec une eau riche en sels souvent mal contrôlée avec des eaux saumâtres soit à l'utilisation abusive des engrais [9], [10]. La salinisation ou encore l'irrigation est considérée comme un processus important de dégradation des sols. Elle constitue aussi un facteur limitant à la croissance et au développement des plantes, elle peut même réduire les rendements à l'hectare des cultures en général et des cultures légumières comme le petit pois. Les conséquences de ce phénomène qui ne cessent de prendre de l'ampleur, se manifestent par la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions (Na*et Cl¹) dans les tissus des organes, et à un déséquilibre nutritionnel imputable essentiellement à des compétitions entre les éléments minéraux, tels que le sodium avec le potassium et le calcium, le chlorure avec le nitrate, le phosphate et le sulfate [11].

Le stress perçu par une plante, autrement dit le niveau de tension interne, dépend de la résistance de l'organisme à un type de stress appliqué avec une certaine intensité. En plus du type de stress et de son intensité, il faut également considérer la durée d'exposition. En effet, si l'intensité d'un stress est trop faible pour provoquer des dommages irréversibles à court terme et à long terme, ce stress peut provoquer des changements plastiques, voir la mort de l'organisme [12]. Le stress salin s'applique surtout à un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement aux ions Na⁺ et Cl⁻ [13]. De nombreux travaux ont montré que l'irrigation saline réduit la croissance et le rendement de nombreuses espèces végétales [14], [15]. Cette réduction résulte d'un certain nombre de dysfonctionnement physiologique et biochimique dans les plantes cultivées sous stress salin [14], [16].

En effet le stress salin est une conséquence du déséquilibre des balances ionique et osmotique cellulaires [6]; [17], désactivant ainsi les fonctions cellulaires vitales d'une plante. Cette phase de stress se caractérise par une disponibilité réduite en eau, une augmentation du taux de respiration, une modification de la distribution minérale et une défaillance dans le maintien de la pression de turgescence [18]. Les légumineuses constituent une importante composante d'aliments nutritifs [19], elles sont très riches en protéines et complètent les céréales dans la qualité nutritive et sont relativement adaptées au climat méditerranéen [20]. Le petit pois ou *Pisum satinum* est une fabacée cultivée en Algérie objet de notre étude en temps que matériel végétal est très répandue dans les zones tempérées, cette plante est considérée comme une plante sensible au stress salin [21].

Le petit pois (*Pisum sativum*), une plante annuelle cultivée à travers le monde est utilisée en alimentation humaine et animale. En Algérie les conditions climatiques et du sol sont très favorables à sa culture, laquelle s'étend sur une superficie de 21 200 hectares avec une production avoisinant les 632 900 quintaux, soit 30 quintaux /hectare.

La richesse du petit pois en protéines permet de remplacer certaines protéines animales dans l'alimentation, les teneurs en protéines des graines varient de 17.25 à 32.2 % selon les génotypes et les conditions de production [22]. Du point de vue agronomique, le pois est considéré comme très bonne tête de rotation, il laisse un sol enrichi en azote de 30 à 50 Kg /ha [23]. Sa capacité de fixer l'azote atmosphérique par les azotobacters au niveau du système racinaire, permet de réduire les apports azotés, et donc limiter la pollution des nappes phréatiques par les engrais azotés [24]. Il nous a semblé judicieux de prendre en considération une gamme de concentrations des deux sels en question (NaCl et K2SO4) comme suit : 1g/l, 2g/l, 3g/l, 4g/l, 5g/l, 6g/l, 10g/l. Il s'agit notamment de démarrer l'expérience sur le petit pois Pisum sativum (espèce annuelle à large consommation) avec des faibles concentrations pour ne pas léser ou encore stresser les individus végétaux en particulier au niveau du stade de la germination. Les autres expériences effectuées par des chercheurs insistent sur la nécessité d'aller progressivement avec les concentrations salées. En effet cette manière d'opérer a été délibérément retenue dans le cadre de nos essais. Aussi n'importe qui pourrait s'étonner de voir la dernière concentration (10g/l) utilisée. Ce choix n'est pas anodin, parce aller directement de 6g/l à 10g/l doit certainement comporter des raisons qui seront sans doute élucidées dans l'expérimentation. Cette forte concentration ou considérée comme telle pourra-telle nous renseignera t-elle sur le degré maximal de réponse chez cette fabacée ? Le milieu ou la température peuvent d'autre part influencer la germination dans des conditions de température appropriées. Ces deux températures, on peut dire qu'elles nous ont été imposées ou presque dans le cadre de ce travail (comprenant successivement 02 expérimentations : dans les boîtes de pétri et dans les pots de végétation), à 20°C (température ambiante du laboratoire), et à 5°C (température du frigidaire). Celles-ci auront-elles des effets, et lesquels sur la germination?

MATERIELS ET METHODES

Germination dans les boîtes de pétri

Nous avons effectué l'ensemble de nos expériences in vitro portant sur les germinations des graines de cette fabacée dans le laboratoire d'Ecologie et de gestion des écosystèmes naturels.

Préparation des dilutions

La préparation des dilutions à partir de l'eau distillée des solutions salines mères de NaCl (100g/l) et de K₂SO₄ (100g/l) a été effectuée comme suit :

On a pris successivement 100 g de Na Cl (chlorure de sodium pur) et 100 g K_2SO_4 (sulfate de potassium), puis on les a complétés avec de l'eau distillée à 1000 ml (1 litre) après leur avoir fait subir une dissolution puis un chauffage compte tenu de leur dureté.

Préparation des différentes concentrations :

A partir des 2 solutions mères de 100g/l (NaCl et K₂SO₄), sept concentrations ont été établies : 1g/l, 2g/l, 3g/l, 4/l, 5g/l, 6 g/l et 10 g/l.





Le cycle de vie d'un Pois

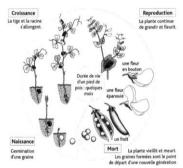


Figure 1: Photo de la plante et des graines de Pisum sativum [1,2]

Préparation des graines et semis

Les graines sont sélectionnées et triées en fonction de leur morphologie, de leur taille, et de leur état sanitaire.

Avant la mise en germination, les graines sont lavées à l'eau courante, puis séchées et sont disposées linéairement à l'aide d'une pince stérilisée dans des boites de pétri de 10 cm de diamètre garnies d'une couche de papier filtre stérile.

Deux températures sont retenues au niveau de cette expérimentation, 20°C (à température ambiante) et 5°C (température froide obtenue au niveau du frigidaire).

Nous avons été amenés à procéder à des arrosages réguliers ou presque (concentrations salées) en fonction des besoins des graines.

L'expérimentation ou du moins l'arrosage des boites de pétrie par l'eau salée a été suivi par des essais témoins avec 3 répétitions chacune (arrosage à l'eau distillée). Chaque traitement (concentration salée) pour le petit pois est répété 3 fois (3 boites de pétrie) a été conduit dans deux conditions de températures (20°C et 5°C).

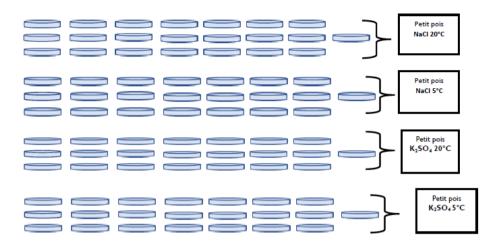


Figure 2: Dispositif expérimental de l'essai de germination des graines de petit pois

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

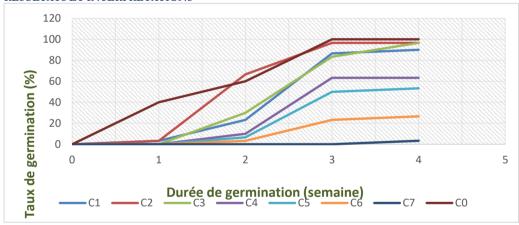


Figure 3 : Germination des graines de *Pisum sativum* dans différentes concentrations de **NaCl** à température ambiante 20°C en fonction du temps

Les germinations des graines de *Pisum sativum* augmentent de la première à la dernière semaine pour l'ensemble des traitements de **NaCl** (différentes concentrations de 1g/l à 10g/l). L'évolution est cependant plus rapide (1g/l à 3g/l) dans les premières concentrations, alors qu'elle semble être plus lente dans les dernières, celles-ci diminuent de 3.33% (10g/l) à 63% (4g/l) (Figure 3).

Le traitement témoin (eau distillée) montre une augmentation de la germination qui est supérieure (par rapport aux traitements ci-dessus) de la première à la dernière semaine (0 % à 100%), cette situation est évidente, car l'eau dépourvue de sels permet une germination sans difficulté. Les graines n'ayant pas reçu de traitement salé (NaCl) montrent une meilleure progression dans les germinations.



Photo 1: Graines dans les boîtes de pétri

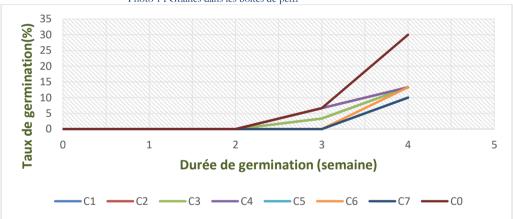


Figure 4 : Germination des graines de *Pisum sativum* dans différentes concentrations de **Na Cl** à température 5°C en fonction du temps (semaines)

Les graines de *Pisum sativum* amorcent leur germination ou ce que l'on peut appeler interruption de leur dormance avec un certain temps de latence, deux semaines après. Celles-ci germent lentement en particulier lors de la dernière semaine où nous obtenons de faibles pourcentages ne dépassant pas les 15% et cela pour l'ensemble des traitements de **NaCl** (différentes concentrations de 1g/1 à 10g/l). L'évolution permet de remarquer des courbes exponentielles en particulier pour le témoin. Les autres voient leurs courbes augmenter moins vite et atteignant des germinations ne dépassant pas les 15% (Figure 4), Le traitement témoin (eau distillée) montre une augmentation du taux de germination qui est supérieur (par rapport aux autres traitements ci-dessus) de la première à la dernière semaine (0 à 30%). L'eau dépourvue de sels permet ou favorise une germination sans difficulté. Ce qui est un peu étonnant et nous a un peu, on dire surpris, ce sont les réponses notamment les lenteurs qu'ont manifesté dans les deux premières semaines ces graines, une situation qui trouve son explication par probablement l'absence de maturité physiologique des graines, une hypothèse que l'on peut toutefois avancer.

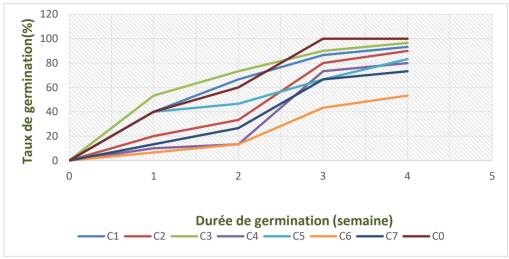


Figure 5: Germination des graines de *Pisum sativum* dans différentes concentrations de K₂SO₄ à température ambiante 20°C en fonction du temps

L'augmentation est cependant soutenue et régulière pour les différents traitements de *Pisum sativum* augmentant de la première à la dernière semaine pour l'ensemble des traitements de **K₂SO₄** (concentrations de 1g/l à 10g/l). L'évolution est cependant plus rapide (1g/l à 5g/l) dans les premières concentrations, alors qu'elle semble plus ralentie dans les fortes concentrations et atteint des niveaux élevés de germination plus de 60% (Figure 5).

La germination dans le traitement témoin (eau distillée) semble l'emporter, elle est supérieure (par rapport aux autres traitements) de la première à la dernière semaine (0 % à 100%). Cette situation est évidente, car l'eau dépourvue de sels semble favoriser une germination sans difficulté. Le sel **K2SO**₄ agit favorablement en diminuant le taux de germination au fil du temps, il s'agit là d'une action identique à celle observée avec le **NaCl**.

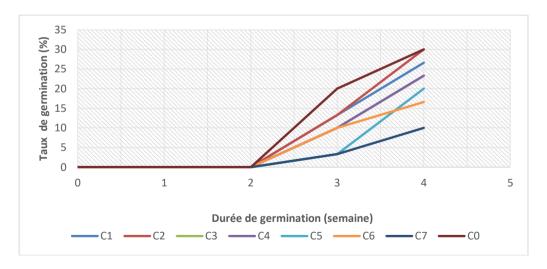


Figure 6 : Germination des graines de *Pisum sativum* dans différentes concentrations de **K2SO**₄ à température **5°C** en fonction du temps

Devant une température froide 5°C, l'évolution ici n'est pas comme les autres. Elle s'élève à des valeurs qui vont chercher des pourcentages ne dépassant pas les 30%. Le départ de la germination traité avec le **K2SO**4 met en quelque sorte le matériel biologique en difficulté, la germination apparaît deux semaines après. Par la suite celle-ci s'élève plus ou moins rapidement dans les différents traitements qui ne dépassent pas cependant les 30% (Figures 6).

Kahouadji et al. / JISTEE, Vol. (v), No. 1, Avril 2021, pp. 30-39

Le traitement témoin (eau distillée) est très favorable à la germination, il est même supérieur aux autres traitements de la troisième à la dernière semaine (0 % à 30 %). Cette situation apparaît du moins évidente car l'eau dépourvue de sels permet une germination sans difficulté. Les concentrations croissantes de **K2SO**4 agissent favorablement sur le taux de germination pendant les dernières semaines (3ème et 4ème semaine), nous relevons dans ce cas là une action semblable à celle observée avec le **NaCl.**

Germination dans les boîtes dans les pots

Nous avons jugé utile en parallèle d'effectuer des essais de germination en pots. Ces derniers contiennent de la terre de culture (ramenée des champs limitrophes, commune de Mansourah). Il nous a semblé utile de combiner le sel et les conditions de culture (substrat-sol pris en considération) pour suivre les germinations.

Le sol utilisé provient des champs cultivés, prélevé dans la commune de Mansourah (wilaya de Tlemcen), celui-ci présente les caractéristiques suivantes :

T 11	A 1	/ 1		7.1		
Lableau	 Δηρίνερε	racultate	interpretations	of mothodes	d'analyse du sol	4

Types d'analyses	Résultats	Interprétations	Méthodes d'analyses
Granulométrie • % Argiles	17 25	Limono-argilo- sableux	Sédimentométrie
% Limons% Sables	59		
pH (eau)	0.8	Faiblement alcalin	Electrométrie
CaCO3 (%)	30	Forte charge en calcaire	Calcimètre de Bernard
Couleur selon Munsell	10YR 3/3		Soil color Chart
Conductivité électrique (mS / cm)	0.80	Peu salé	Extrait 1/5
Matière Organique (%)	2.4	Moyenne	Méthode d'Anne (1945)

Ce substrat homogène (Tableau 1) a été prélevé au niveau de la rhizosphère (moins de 30 cm, horizons explorés par les systèmes racinaires) dans les champs de grande cultures, où les espèces légumières sont cultivées, notamment les lentilles, les fèves et les petits pois. Il s'agit d'un sol de texture limono-argilo-sableuses, faiblement alcalin et peu salé. Il contient une charge assez forte en CaCO3 (30%) et un taux de matière organique moyen (2.4%).

Le sol est ensuite étalé à l'air libre pour subir un séchage naturel avant d'être introduit dans des pots : ayant : 22 cm de hauteur et 25cm de diamètre (en haut) et 13.5 cm de diamètre (à la base), tapissés de gaze stérile placé en bas pour faciliter l'élimination des eaux d'arrosage en excédent.

Les graines subissent une désinfection à l'hypochlorite de sodium (eau de javel) pendant 5 minutes puis on les rince plusieurs fois à l'eau distillée pour éliminer les traces de chlore.

Les graines de petit pois à raison de 10 /pot (au nombre de 07) ont été semées et arrosés avec des concentrations salées de NaCl et K₂SO₄: 0g/l, 1g/l, 3g/ et 10g/l. Au total nous avons 14 pots traités (07 par type de sel) dans un milieu ambiant 20°C. Cette expérience a été suivie durant plus de 02 mois au cours de laquelle ont été comptabilisées la germination et la mesure de la taille des plantules au stade juvénile.

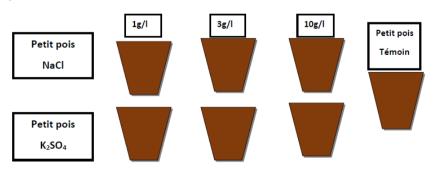


Figure 8 : Dispositif expérimental des graines de Petit pois Pisum sativum dans les pots à 20 °C

Kahouadji et al. / JISTEE, Vol. (v), No. 1, Avril 2021, pp. 30-39

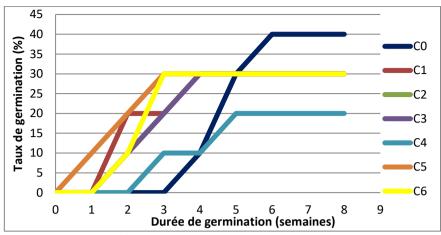


Figure 9: Germination des graines de *Pisum sativum* dans différents traitements (NaCl et K₂SO₄) à température ambiante 20°C en fonction du temps

La germination connaît une ascension moyenne pour les différents traitements. Durant les trois premières semaines, la germination ne dépasse pas les 30%. Ce taux va s'élever pour s'arrêter à 40% à la 6ème semaine. La germination traitée par 1g/l (**K2SO**₄) n'a pas eu l'écho favorable. A partir de la 4ème semaine la germination a commencé à réellement s'amorcer et cela pour l'ensemble des traitements et ensuite finir avec des taux n'excédant pas les 40%.



Figure 10 : Photos de la germination des graines de *Pisum sativum* traitées par différentes concentrations de **NaCl** et de **K2SO**4 et dans l'eau distillée après 8 semaines

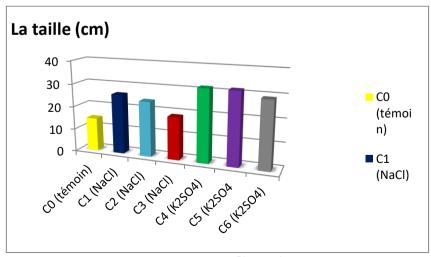


Figure 11 : La taille des plantules (cm) de Pisum sativum après 8 semaines

Kahouadji et al. / JISTEE, Vol. (v), No. 1, Avril 2021, pp. 30-39

Les tailles les plus élevées (31.5 cm) sont obtenues pour les traitements (1g/l et 3g/l de K₂SO₄) des plantules du petit pois *Pisum sativum*. Les autres (1, 3, 10g/l de NaCl) ne vont pas s'allonger de la même manière, au contraire elles atteignent des seuils moins élevés que les précédents (18.5, 24 et 26 cm).

La croissance traitée par l'eau distillée (témoin 0g/l) est faible (14.5cm). Cette situation peut paraître étonnante, les plantules auraient pu accuser un allongement de la taille pour rejoindre ceux des traitements ci-dessus.

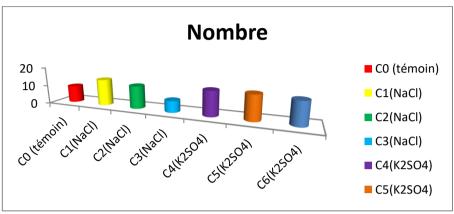


Figure 12 : Nombre de feuilles de Pisum sativum après 8 semaines

Le nombre de feuilles du petit pois *Pisum sativum*, les plus élevées atteignent 14 feuilles, elles sont obtenues pour les traitements (1g/l NaCl), 13 feuilles pour 1g/l, 3g/l de K₂SO₄. Les autres concentrations 3g/l, 10g/l de Na Cl et 10g/l K₂SO₄, ne donnent pas le même résultat. Ce nombre de feuilles diminue et atteint respectivement 12 et 6 feuilles.

Le petit pois traité par l'eau distillée (témoin 0g/l) permet d'obtenir 9 feuilles, un chiffre considéré comme assez faible.

Lorsque la température atteint 45 à 50°C l'assimilation photosynthétique du CO₂ chez les plantes supérieures s'annule généralement [25]. Cependant dans la plupart des cas il est difficile d'obtenir une valeur stationnaire de l'assimilation photosynthétique à partir de 40°C, ce qui provoque une dégradation progressive des processus liés à la photosynthèse.

Palia et al. [26] citent que parmi les causes possibles expliquant cette inhibition, la destruction des membranes cellulaires a d'abord été examinée. Une perte de la compartimentation cellulaire peut en effet arrêter le déroulement des grandes fonctions métaboliques. Il a été cependant montré par Havaux [27] et Murakani et al. [28] que la photosynthèse était inhibée (dommages membranaires) par des températures plus basses d'environ 10°C. Il est apparu que l'enveloppe du chloroplaste était plus résistante à la température que les membranes formant les thylacoïdes, donc ce sont les processus se déroulant à l'intérieur du chloroplaste qui étaient endommagés par les températures élevées.

Tewari et Tripathy [29] ont étudié l'effet de la chaleur sur ce processus en examinant le verdissement de plantules étiolées à différentes températures. Il est vite apparu que la synthèse des chlorophylles était inhibée par la chaleur, c'est ainsi que la synthèse de chlorophylle totale (a et b) se trouve endomagée à 70% environ chez les plantules étiolées de concombre mises à la lumière dans une chambre de culture à 42 °C.

CONCLUSION

Les effets du sel sur les plantes dépendent à la fois de leur stade de développement (Munns et al. 1995) in Munns [12], de l'espèce, du cultivar, du génotype [30] et de la durée de l'exposition aux contraintes salines [31]. Une forte concentration en NaCl dans le sol est perçue par certaines plantes comme une sécheresse physiologique. Ce changement dans le statut hydrique de la plante serait la cause initiale de la réduction de la croissance induisant son atrophie et la baisse de sa productivité [32]. Le stress salin s'applique sur la plante sous deux types de contraintes, le sel exerce d'abord un effet osmotique, dès que les racines sont en contact avec lui jusqu'à un niveau seuil de concentration en sel ensuite, il s'accumule à des concentrations toxiques dans les feuilles et entraine un stress ionique [8]. Le petit pois (Pisum sativum), une plante annuelle cultivée à travers le monde et utilisée en alimentation humaine et animale. En Algérie les conditions climatiques et du sol sont très favorables à sa culture, laquelle s'étend sur une superficie de 21 200 hectares avec une production avoisinant les 632 900 quintaux, soit 30quintaux /hectare. Le sel ne change pas le schéma morphogénétique des plantes puisque le nombre de feuilles des plantes traitées est voisin de celui des témoins. L'effet des variantes températures (5°C et 20°C) a provoqué chez les graines de petit pois un allongement de la période de germination allant d'une semaine pour la température 20°C jusqu'à trois semaines pour la température 5°C. Ce retard lié au démarrage de ce stade juvénile pourrait éventuellement à notre avis trouver son explication par les retards liés au métabolisme chez les plantes. Le taux de germination chez le petit pois traité par le NaCl atteint 96% à 20°C et 13 % à 5°C pour les faibles concentrations, par contre le taux de germination pour les concentrations élevées atteint 3.33% à 20°C et 10% à 5°C. Pour l'autre traitement avec le K2SO4 la germination des graines enregistre un pourcentage élevé de 96% à 20°C et 30 % à 5° C pour les faibles concentrations . Au niveau des fortes concentrations

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement

Kahouadji et al. / JISTEE, Vol. (v), No. 1, Avril 2021, pp. 30-39

nous obtenons 73.3% à 20° C et 10% à 5° C, alors que le traitement témoin donne un résultat de 100% à 20° C. Le traitement en présence de la température froide du frigidaire ralentie considérablement la germination.

Est-il nécessaire de recommander la poursuite de ce genre d'expériences en variant davantage les concentrations de sels et les températures des milieux dans lesquels peuvent être exposées ces graines ? Les résultats obtenus seront probablement riches en informations.

References

29.

- Munns, R; Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol 59: 651-681.
- 2. Garza Aguirre, R A.; Hernandez Pinero, J L; Rocha Estrada, A.; Foroughbakhch-Pournavab, R.; Moreno-Limon, S. 2015. Microanalysis of leaves of Atriplex canescens (Pursh) Nutt. Under saline condition. Int.jour. Farm and Alli. Sci. Vol., 4: 26-31.
- 3. Jayakannan, M; Bose, J; Babourina, O; Rengel, Z; et Shabala, S. 2015. Salicylic acid in plant salinity stress signaling and tolerance .Plantgrowth Regul. Vol 76, IssueI: 25-40.
- Jia, J.; Cui, X.; Wu, J.; Wang, J.; and Wang, G. 2011. Physiological and biochemical responses of halophyte Kalidium foliatum to salt stress. 4 Afr. Jour. Biotechnologie. 10: 11468-11476.
- Jyorthi-Prakash, P.A.; 2015. Molecular and Physiological studies of salt tolerance in the salt secretor mangrove avicennia officinales.A 5. thesis submitted for the degree of doctor of philosophy (ph.D.) faculty of scien. Natio. Univer. of Singapore. 128p.
- Flowers, TJ; Galal, HK; Bromham, L. 2010. Evolution of halophyte: multiple origins of salt tolerance in land plants. Funct Plant Biol 37: 6.
- 7. Qadir, M; Quille' rou, E; Nangia, V; Murtaza, G; Singh, M; Thomas, R.J; Drechsel, P; and Noble, A.D. 2014. Économics of salt - induced land degradation and restortion. Nat Res Forum.
- 8 Parvaiz, A; and Satyawat, i S. 2008. Salt stress and phyto-biochimical responses of plants- areview. Plant Soil Environ.54: 89-99.
- 9. Rengasamy, P; 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected Soils. Aust. J. Soil Res. 37: 613:-620 p.
- 10. Yamaguchi, T; and Blumwald, E. 2005. Devloping salt-tolerent crop plant: challenges and opportunities. Trends Plant Sci. 10(12): 615-
- Djerah, A; et Oudjehih, B. 2016. Effet du stress salin sur la germination de seize variétés d'orge (Hordeum vulgare L.). Courrier du Savoir, 11.
- 12. Munns R. 2002- comparative physiology of salt and water stress. Plant cell Environ.25, 239-250.
- Hapkins, W. G. 2003. Physiologie végétale.2éme édition. De Boeck , Bruscelle: 476p. 13.
- 14. Jamil, A.; Riaz, S; Ashraf, M; and Foolard, M.R. 2011. Gene expression profiling of plants under salt stress. Crit Rev Plant Sci 30: 435-
- Fahramand, M; Mahmoody, M; Keykha, A.; Noori, M; and Rigi, K.. 2014. Influence of abiotic stress on proline, Photosynthetic enzymes 15. and growth.Intl.Res. J. Appl. Basic. Sci. Vol. 8(3), 257-265.
- Beddi, M; and Benabadji, N. 2018. Rhizogenesis of Two Species Fabaceae: Cicer arietinum L. and Pisum sativum L... Open journal of 16. Ecologie, Vol. 8, 4, 239-249.
- 17. Yadav, S; Irfan, M; Ahmad, A; and Hayat S. 2011. Causes of salinity and Plant manifestations to salt stress: A review J. Environ. Biol. 32, 615-620,
- 18 Cuartero J., Bolarin M.C., Asins M.J. et Moreno V. 2006. Increasing salt tolerance in tomato. J. Exp. Bot. 57: 1045-1058.
- Hassan, F. 2006. Heterologous expression of a recombinant chitinase from Streptomyces olivaceoviridis ATCC 11238 in Transgenic Pea (Pisum sativum L.). Doctorate thesis, University of Damas, Syria.
- 20. Abdelaguerfi, Á. et Ramdane, A. 2003. Evaluation Des Besoins en Matière de renforcement des capacités nécessaires à la conservation et L'utilisation durable de la Biodiversité importante pour l'agriculture. Bilans des Expertises sur «La Biodiversité Importante pour l'Agriculture en Algérie » MATEGEF/PNUD : Projet Alg : /97/G31. 11p.
- 21. Laredj, R; 2013. Effet de la salinité sur le comportement hydrique et minérale du haricot (Phaseolus vulgaris L.). Thèse Magistère Biodiversité végétale Méditerranéenne, Univ. Oran Ahmed Benbella: 117p.
- Mosse, J.C. et Huet Baudet, J. 1987. Changements de la composition en acides aminés des graines de pois en fonction de leur taux d'azote .Sci. Aliments, 7: 301-324.
- Boyeldieu, J. 1991. Produire des grains oléagineux et protéagineux. Paris Lavoisier Tec et Doc.
- Guedider, H. 2012. Contribution à l'étude du complexe Ascochyta sur pois (Pisum sativum L.) dans le Nord Ouest Algérien Confrontation 24. in vitro des souches vis-à-vis de quelques fongicides. • Test d'agressivité des souches pathogènes sur feuilles détachées. Mém. Mag. Scii. Agro. Univ. Mostaganem. 105p.
- Sharkey, T.D. and Loreto, F. 1993. Water stress, temperature and light effects on the capacity for isoprene emission and photosynthesis of Kudzu leaves. Oecologia 95: 328-333.
- Palia, T; Garab, G; Horvath, L.I. and Kota, Z. 2003. Functional significance of the lipid-protein interface in photosynthetic membranes. Cell. Life Sci. 60, 1591-606.
- Havaux, M; 1993. Rapid photosynthetic adaptation to heat stress triggered in potato leaves by moderately elevated temperatures. Plant Cell and Environment 16, 461-467.
- Murkani, Y; Tsuyama, M; Kobayashi, Y; Kodama, H. and Iba, K.. 2000. Trienoic fatty acid and plant tolerance of high temperature. 28. Sciences. 287, 476-479.
- Tewari, AK.. and Tripathy, B C.1998 Temperature stress induced impairement of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat. Plant Physiol. 117, 851-858. Fahramand, M; Mahmoody, M; Keykha, A; Noori, M; and Rigi, K. 2014. Influence of abiotic stress on proline, Photosynthetic enzymes
- and growth. Intl. Res. J. Appl. Basic. Sci. Vol., 8(3): 257-265.
- 31. Yadav, S; Irfan, M; Ahmad, A. and Hayat S., 2011- Causes of salinity and Plant manifestations to salt stress: A review J. Environ. Biol.
- Cuartero, J; Bolarin, M.C; Asins, M.J. and Moreno, V. 2006. Increasing salt tolerance in tomato. J. Exp. Bot. 57: 1045-1058. 32.

Cheikh Faye, Sidy Dièye and Ababacar Fall and Boubacar Solly

Cartographie des risques d'inondation à l'échelle du bassin fluvial à l'aide de l'indice de potentiel d'inondation

: Cas du sous-bassin du Niéri-Ko (Bassin de la Gambie)

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,

Vol. (vi), No. 1, Avril 2021, pp. 40-51

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



Cartographie des risques d'inondation à l'échelle du bassin fluvial à l'aide de l'indice de potentiel d'inondation : Cas du sous-bassin du Niéri-Ko (Bassin de la Gambie)

Cheikh Faye¹, Sidy Dièye², Ababacar Fall³, Boubacar Solly⁴

- ¹ Département de Géographie, U.F.R. Sciences et Technologies, Université Assane Seck de Ziguinchor, Laboratoire de Géomatique et d'Environnement, BP 523 Ziguinchor (Sénégal).
- ² Département de Géographie, Faculté des lettres et Sciences Humaines, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, BP 5005 Dakar-Fann, Sénégal.
- ³ Département de Génie Civil, Ecole Polytechnique de Thiès, Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LaSTEE),
- ⁴ Département de Géographie, U.F.R. Sciences et Technologies, Université Assane Seck de Ziguinchor, Laboratoire de Géomatique et d'Environnement, BP 523 Ziguinchor (Sénégal

Résumé

L'étude des phénomènes catastrophes naturelles telles que les risques inondation est particulièrement importante pour les décideurs politiques. Elle permet d'obtenir des informations stratégiques afin de mettre d'anticiper ou atténuation les risques et catastrophes consécutives à la manifestation de ce phénomène grâce à la mise en œuvre de plan de gestion cohérents. Le présent article applique une méthode d'indice multicritères pour évaluer les zones inondables à l'échelle d'un bassin fluvial, dans un environnement de système d'information géographique (SIG). La méthodologie développée a été appliquée dans le sous-bassin de la rivière du Niéri-Ko, un affluent du fleuve Gambie, en traitant les informations de sept paramètres : l'accumulation de débit, la distance du réseau de drainage, l'altitude, la pente, l'utilisation des terres, l'intensité des précipitations et la géologie. Cette méthode qui utilisé le modèle FIGUSED-S, attribue une importance relative à chacun des paramètres pour l'occurrence et l'ampleur des inondations, et les valeurs de pondération correspondantes sont définies par un "processus de hiérarchie analytique". Par la suite, et en fonction de l'importance relative de chaque indice, les informations spatiales sont superposées, ce qui donne une carte des risques d'inondation de le sous-bassin du Niéri-Ko situé dans le bassin de la Gambie. Les résultats obtenus indiquent les zones inondables, avec un risque d'inondation très élevé se produisant principalement dans les basses terres à proximité du réseau de drainage. La carte des risques d'inondation fournie soutient les activités de planification et les plans d'atténuation qui sont essentiels pour protéger à la fois les activités agricoles et les infrastructures existantes contre les inondations futures.

Mots clés: analyse SIG, gestion des risques d'inondation, zones inondables, risques d'inondation, processus de hiérarchie analytique

Mapping of flood risks at the river basin scale using the flood potential index: Case of the Niéri-Ko sub-basin (Gambia River basin)

Abstract:

The study of natural disasters such as flood risks is particularly important for policy makers. It makes it possible to obtain strategic information in order to anticipate or mitigate the risks and disasters following the manifestation of this phenomenon through the implementation of coherent management plan. This article applies a multicriteria index method to assess flood zones at the scale of a river basin, in a geographic information system (GIS) environment. The methodology developed was applied in the sub-basin of the Niéri-Ko river, a tributary of the Gambia river, by processing information from seven parameters: flow accumulation, distance from the drainage network, altitude, slope, land use, rainfall intensity and geology. This method, which uses the FIGUSED-S model, assigns a relative importance to each of the parameters for the occurrence and magnitude of flooding, and the corresponding weighting values are defined by an "analytical bierarchy process". Subsequently, and depending on the relative importance of each index, the spatial information is superimposed, which gives a flood risk map of the Niéri-Ko sub-basin located in the Gambia basin. The results obtained indicate areas prone to flooding, with a very high risk of flooding occurring mainly in the lowlands near the drainage network. The flood risk map provided supports planning activities and mitigation plans which are essential to protect both agricultural activities and existing infrastructure from future flooding. The study of natural disasters such as flood risks is particularly important for policy makers. It makes it possible to obtain strategic information in order to anticipate or mitigate the risks and disasters following the manifestation of this phenomenon through the implementation of coherent management plan. This article applies a multicriteria index method to assess flood zones at the scale of a river basin, in a geographic information system (GIS) environment. The methodology developed was applied in the subbasin of the Niéri-Ko river, a tributary of the Gambia river, by processing information from seven parameters: flow accumulation, distance from the drainage network, altitude, slope, land use, rainfall intensity and geology. This method, which uses the FIGUSED-S model, assigns a relative importance to each of the parameters for the occurrence and magnitude of flooding, and the corresponding weighting values are defined by an "analytical hierarchy process". Subsequently, and depending on the relative importance of each index, the spatial information is superimposed, which gives a flood risk map of the Niéri-Ko sub-basin located in the Gambia basin. The results obtained indicate areas prone to flooding, with a very high risk of flooding occurring mainly in the lowlands near the drainage network. The flood risk map provided supports planning activities and mitigation plans which are essential to protect both agricultural activities and existing infrastructure from future flooding.

Key Words: GIS analysis, flood risk management, flood zones, flood risks, analytical hierarchy process

¹ Corresponding author: cheikh.faye@univ-zig.sn

INTRODUCTION

Dans le contexte actuel de changement climatique et de croissance démographique, la multiplication et/ou l'intensification des crues et les inondations sont devenues une problématique majeure [1]. En effet, même si les précipitations constituent un élément vital pour l'homme et son environnement (rechargement des rivières, nappes souterraines, développement de la végétation, etc.), les épisodes pluvieux génèrent des volumes d'eau parfois difficilement maîtrisables. A l'échelle mondiale, les inondations comptent parmi les phénomènes naturels les plus fréquents, les plus dangereux et les plus destructeurs [2]. Elles touchent environ 170 millions de personnes par an dans le monde [3]. Ils affectent également la production agricole et les infrastructures dans les villes et les zones rurales. Des estimations récentes montrent que la fréquence des inondations extrêmes devrait augmenter d'ici 2100. Les facteurs qui influencent la genèse des inondations sont la topographie, le relief élevé, les précipitations extrêmes, la couverture végétale, les types de formations géologiques, les réseaux hydrographiques et les interventions humaines [4]. Au Sénégal, les inondations constituent un risque naturel important qui a connu un regain d'activité aucours des dernières décennies. Ces phénomènes d'inondations enregistrés mettent en péril les infrastructures existantes, les terres agricoles et la vie des citoyens. La croissance démographique, le développement de l'habitat dans les zones reculées et l'augmentation générale des infrastructures construites ont accru l'impact potentiel du risque d'inondation. Par ailleurs, les tendances à l'urbanisation croissante exercent une pression supplémentaire sur la nécessité d'étendre les zones habitées et les infrastructures routières à des zones qui pourraient être inadaptées en raison du risque élevé d'inondation [5; 6]. En outre, les inondations peuvent s'accompagner de glissements de terrain, un risque supplémentaire qui peut avoir un impact catastrophique sur les établissements humains et les vies humaines. Jusqu'à présent, un certain nombre d'études se sont concentrées sur la cartographie des risques d'inondation comme première étape afin d'estimer la vulnérabilité aux inondations [7; 8; 9; 10]. Depuis plusieurs années, les villes sénégalaises connaissent des épisodes répétitifs des inondations, une croissance progressive de l'érosion urbaine et des problèmes d'assainissement sans précédents. L'ensemble de ces risques environnementaux sont dus à l'agressivité des facteurs climatiques et aux activités anthropiques incontrôlées [2]. Ces aléas climatiques sont amplifiés par des facteurs aggravants comme la pauvreté des ménages, l'inadéquation des matériaux déconstruction, la construction d'habitations dans des zones inondables [11], la faiblesse des ouvrages de protection (digues), l'ensablement des points d'eau, l'inadéquation ou l'absence de plan d'aménagement urbain, la faiblesse des mécanismes d'information et d'alerte [12], la faiblesse des structures régionales de gestion des catastrophes, etc. Ainsi les dégâts causés par les inondations chaque année dans les différentes villes du pays sont entre autres : insalubrité, effondrements d'habitations et d'infrastructures (écoles, routes, ponts, digues, etc.), des pertes de bétail et des hectares de cultures pluviales ; mais aussi des pertes en vies humaines. Toutes les parties d'un bassin fluvial sont vulnérables aux inondations à des degrés différents selon les cas et les situations, ce qui les rend uniques. Une évaluation des risques d'inondation est un outil utile pour les décideurs politiques et les autorités locales afin de concevoir des mesures de protection dans les bassins hydrographiques. Les principales étapes de la gestion des risques d'inondation sont les suivantes [9] : planification des mesures d'atténuation (avant l'inondation), mesures d'intervention (pendant l'inondation) et rétablissement (après l'inondation). Différentes méthodes et techniques ont été appliquées, y compris la simulation (par exemple, le logiciel HÉC-RAS), les méthodes d'indexation, l'analyse statistique et les méthodes hybrides dans un environnement de système d'information géographique (SIG) [13;14;15]. Le SIG est reconnu comme un moyen puissant pour intégrer et analyser des données provenant de différentes sources. Ainsi, la cartographie des risques d'inondation a été mise en œuvre pour différents scénarios de croissance urbaine, en simulant les conséquences de cas alternatifs [16]. Selon un rapport publié par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) [17], des approches déterministes sont utilisées pour évaluer les impacts des catastrophes d'un scénario d'aléa donné, tandis que des méthodes non déterministes sont utilisées pour obtenir des estimations plus précises de la fréquence des aléas et des dommages. Ainsi, les méthodes non déterministes prennent en compte tous les scénarios possibles, en intégrant les incertitudes inhérentes dues à la complexité du phénomène analysé, à son caractère aléatoire ou simplement aux limites des connaissances. Par ailleurs, d'autres méthodes d'études sur les inondations utilisent principalement des modèles spatiaux SIG, y compris un nombre important - et toujours croissant - de méthodes proposées par Chapi et ses collègues [18] ont proposé un nouveau modèle d'intelligence artificielle (IA), appelé bagging-LMT, qui est la combinaison d'un ensemble de bagging et d'un arbre modèle logistique. La méthode a été appliquée dans le bassin hydrographique de Haraz, dans le nord de l'Iran. Des techniques de télédétection associées à des SIG ont été utilisées pour évaluer la vulnérabilité aux inondations dans la région du Bengale-Occidental en Inde [19]. Les méthodes modernes sont basées sur des ensembles de systèmes d'inférence neuro-floue adaptatifs et d'algorithmes méta heuristiques [20] ainsi que sur des algorithmes génétiques et d'évolution différentielle [21]. Zhao et al. [22] ont utilisé un modèle de forêt aléatoire (RF) afin de cartographier les zones inondables dans la partie montagneuse de la Chine. Il est clair que le grand nombre de modèles incluant différents nombres de paramètres peut être déroutant. Nous nous sommes donc concentrés sur l'application d'une méthode existante dans un environnement différent et à une échelle plus petite (bassin fluvial). La présente étude vise à analyser l'occurrence des inondations dans une zone spécifique ; les inondations étant des aléas de nature particulièrement complexe, une méthode non déterministe, telle que celle appliquée dans la présente recherche, est appropriée [4]. il s'agit d'un travail qui porte sur la définition des zones inondables dans un bassin fluvial du Niéri-Ko (affluent du bassin de la Gambie), en utilisant une méthode d'indexation dans un environnement SIG. Cette méthode analyse sept paramètres : l'accumulation de débit (F), l'intensité des précipitations (I), la géologie (G), l'utilisation des terres (U), la pente (S), l'altitude (E) et la distance par rapport au réseau de drainage (D). L'objectif est de définir les zones à risque d'inondationdans le bassin du Niéri-Ko, où les mesures d'atténuation et de protection doivent être prioritaires. La méthodologie développée a été présentée dans des travaux précédents [14]. Ces travaux fournissent des évaluations et des cartes des risques d'inondation à une échelle régionale. Cependant, un plan intégré de protection contre les inondations

présuppose une plus grande discrétisation des cartes des risques afin qu'elles soient économiquement abordables et descriptibles en termes de processus environnementaux. Par conséquent, nous avons réduit l'application de la méthode dans un bassin fluvial où les cartes des risques d'inondation ne sont pas disponibles.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Zone d'étude : Le fleuve Gambie prend sa source à environ 1 150 m d'altitude dans le Fouta Djalon, près de Labé en République de Guinée. Le bassin de la Gambie couvre une superficie de près de 77 100 km, partagés entre trois Etats [23]: la Guinée (pourcentage de la superficie du bassin), le Sénégal (% de la superficie) dont il draine presque toute la région Tambacounda, une partie de la Haute-Casamance et du Saloum méridional et la Gambie (% de la superficie) dont il est l'épine dorsale et où il rejoint l'océan Atlantique. Il s'étend, en latitude, du 11°22 Nord (dans le Fouta-Djalon) au 14°40 Nord (dans le Ferlo sud-oriental) et, en longitude, du 11°13 Ouest (Fouta-Djalon) au 16°42 Ouest (Banjul, embouchure). La longueur du cours d'eau principal est de 1180 km, un cours d'eau constitué de deux biefs : un bief continental et un bief maritime [24; 25]. Le bief continental reçoit de nombreux affluents sur sa rive gauche (Diagueri, Niokolo-Koba, Niéri-Ko, Sandougou...) et sur sa rive droite (Thiokoye, Diarha, Koulountou...) (Figure 1). Le bassin versant du Niéri-Ko, sous-bassin le plus vaste du bassin de la Gambie, couvre une surface de 11757 km². Cet affluent se trouve sur la partie aval du fleuve Gambie, entièrement dans la région du Sénégal Oriental, entre les latitudes 13°10' et 14°45' Nord et les longitudes 12°15' et 13°30' Ouest [23; 25]. Le Niéri-Ko qui prend sa source à 110 m d'altitude au Nord de Goudiry. Il traverse, au long de son cours (232 km), de même que son principal affluent le Sanone (132 km), des régions peu arrosées, et assez plates (essentiellement des plateaux gréseux du Continental Terminal). Son cours principal prend sa source à 110 m. d'altitude au Nord de Goudiri. Le Nieéi-Ko qui est contrôlé au pont de la route de Kédougou, tout près de sa confluence avec la Gambie, est un affluent de rive droite dont les disponibilités en eau de surfaces sont très faibles, malgré la taille du bassin. Il est marqué par des étiages prononcés marqués par un arrêt de l'écoulement durant de nombreux jours sur une année [26].

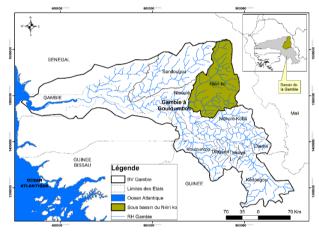


Figure 1 - Localisation du sous-bassin du Niéri-Ko dans le bassin versant de la Gambie

Données: Les zones inondables du bassin de la Mouriki ont été évaluées dans la présente étude à l'aide de la méthode FIGUSED-S. FIGUSED-S a été développé par les auteurs [14] et est un modèle basé sur un index et fonctionnant dans un environnement SIG. FIGUSED définit les zones inondables et avait à l'origine une portée régionale. Il traite les informations de sept paramètres, dont les initiales créent le nom de la méthode : "FIGUSED". Les paramètres, décrits en détail dans le texte suivant, sont : l'accumulation de débit (flow accumulation (F)), l'intensité des précipitations (I), la géologie (G), l'utilisation des terres (U), la pente (Slope (S)), l'altitude (Elevation (E)) et la distance par rapport au réseau de drainage (D). Les données morphologiques, météorologiques, géologiques et hydrogéologiques ont été recueillies par les auteurs dans le cadre d'une analyse détaillée de la zone étudiée [27]. Les informations obtenues ont ensuite été vérifiées, corrigées et harmonisées en fonction des objectifs du présent exercice.

Accumulation de flux (F): Cette méthode permet d'estimer le débit accumulé, un critère important de l'occurrence des inondations. Elle le fait en agrégeant les flux d'eau de la montée à la descente sur la grille de sortie. Des valeurs élevées de débit accumulé indiquent les cellules dans lesquelles l'eau qui s'écoule a tendance à se concentrer. Ces zones sont plus sujettes au risque d'inondation. Comme indiqué dans le Tableau 1, les valeurs d'accumulation de débit sont comprises entre 0 et 1257465 avec une prédominance de la classe 0-60000 qui représente 99,7% de la surface du sous-bassin du Niéri-Ko. La Figure 2 montre la distribution de l'indice d'accumulation de débit dans la région étudiée, les valeurs élevées ne se produisant que dans les affluents et leurs sorties.

Intensité des précipitations (I): Le paramètre de l'intensité des précipitations (I) est exprimé à l'aide de l'indice de Fournier modifié (IFM), qui est la somme de l'intensité mensuelle moyenne des précipitations enregistrées par les stations pluviométriques. La distribution spatiale de ce critère a été trouvée en utilisant la méthode d'interpolation spline afin de prendre également en compte l'allocation des stations dans le sous-bassin du Niéri-Ko. Les valeurs du paramètre de l'intensité des précipitations (I) se distinguent par cinq classes (avec des valeurs qui varient de 145 à 215), comme indiqué dans le Tableau 1. La distribution spatiale des valeurs de l'intensité de la pluie est illustrée dans la Figure 3, les valeurs les plus élevées étant situées dans la partie Sud-ouest de la zone étudiée. Les valeurs de l'indice IFM moyen ont montré une variabilité spatiale élevée dans le sous-bassin du Niéri-Ko. En effet, même si le risque d'inondation peut diminue d'ampleur et d'intensité du Sud au Nord suivant la baisse les totaux pluviométriques annuels, paradoxalement, c'est le nord qui souffre le plus en raison des constructions et du type de sol, entre autres

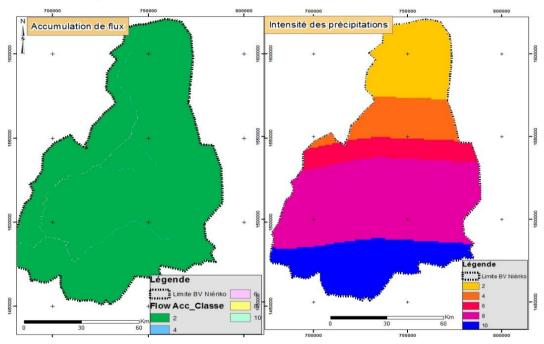


Figure 2 - Indice d'accumulation de flux (F) dans le bassin

Figure 3 - Indice de l'intensité des précipitations (I) dans le bassin

Géologie (G): Le paramètre de la géologie est important pour la caractérisation des zones inondables, car il peut potentiellement influencer l'ampleur des inondations. Alors que les roches imperméables favorisent le ruissellement de surface et augmentent l'intensité des inondations, les formations perméables favorisent l'infiltration d'eau. Selon la géologie, cinq couches ont été notées, les roches du socle néoprotérozoique et paléozoique indifférencié qui représentent 28,6% de la surface du sous-bassin du Niéri-Kose voyant attribuer la valeur la plus élevée (10) et les alluvions fluviatiles récentes (avec 0,16% de la surface du sous-bassin) avec la valeur la plus faible (2) en raison de leur capacité d'infiltration croissante (Tableau 1). Les alternances de marnes à discocyclines et de calcaires jaunes à mollusque sont été notés 4, les grès bioturbés et argiles kaoloniques (la couche la plus importante du bassin avec 63,9%) notés 6 et la formation du Saloum notée8. La Figure 4 montre la distribution spatiale des valeurs du paramètre de la géologie.

Utilisation des terres (U): Le paramètre d'utilisation des sols est principalement lié au taux d'infiltration en raison de la corrélation existante entre les caractéristiques de surface qui affectent le ruissellement (sub) superficiel, l'infiltration des eaux souterraines et le flux de débris. Les informations sur l'utilisation des terres ont été extraites des images Landsat8 sur la couverture des terres [28], montrant qu'une grande partie de la zone étudiée est couverte de savanes boisées (66,6% de la surface du sous-bassin du Niéri-Ko) et de savanes arbustives (13,1% de la surface du sous-bassin), avec des taux de 10 et 8 respectivement (Figure 5). La forêt (3,41 % de la surface) favorise généralement l'infiltration, tandis que les zones agricoles (22,8 % de la surface) permettent à l'eau de s'écouler en plus grande quantité sous forme de ruissellement de surface ou de subsurface. Les zones de forêt clairsemée et les zones en eaux libres ne représentent qu'une fraction du sous-bassin du Niéri-Ko.

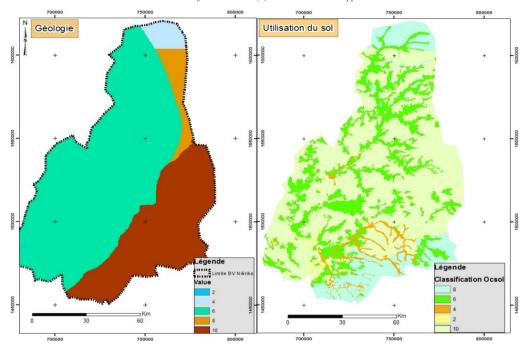


Figure 4 - Indice de géologie (G) dans le bassin

Figure 5 - Indice d'utilisation des sols (U) dans le bassin

Pente (S): La pente est fortement corrélée à la fois au volume et à la vitesse du ruissellement de surface, ainsi qu'à l'infiltration dans les eaux souterraines. Les zones plates s'inondent plus rapidement que les zones inclinées où le ruissellement s'écoule plus bas. La carte des pentes du sous-bassin du Niéri-Koa été construite à partir du modèle numérique de terrain (MNT tiré du SRTM 30 m USGS) de la zone avec une résolution de cellule de m. En suivant la classification décrite dans la bibliographie [29], cinq classes de pentes ont été définies. La Figure 6 illustre la distribution spatiale de la pente, montrant que la partie Est - la zone la plus élevée - est plus raide. Les parties centrale et occidentale ont une pente plus faible, principalement couverte par la savane.

Élévation (E): Comme l'eau coule de plus en plus haut, les zones de plaine sont plus sujettes aux inondations. La carte d'élévation a été obtenue à partir de la reclassification du MNT du sous-bassin du Niéri-Ko. Le Tableau 1 présente les définitions des cinq niveaux d'élévation, tandis que la Figure 7 illustre leur répartition. L'élévation augmente de l'Ouest à l'Est, de ≃11 à ≃177 m. Ainsi, une augmentation de plus de 166 m a lieu sur une distance de 63 km, ce qui indique clairement la partie Est abrupte de la région. Les zones de faible altitude sont situées principalement dans la partie occidentale, dans le sud et, en partie, dans la partie centrale du bassin versant étudié. Les classes d'altitudes 55.1-75 m et 75.1-100 m représentent la surface du sous-bassin du Niéri-Ko la plus importante, avec respectivement avec 30% et 29%.

Distance par rapport au réseau de drainage (D): Les débordements de rivières peuvent également déclencher une inondation, car l'eau déborde du canal de la rivière et se répand dans les environs. Plus la distance augmente, plus le risque diminue, car les zones plus proches du réseau fluvial sont sujettes à ce risque. La distance par rapport à la couche du réseau de drainage a été définie en appliquant un outil de zone tampon dans un environnement SIG, en conjonction avec le réseau de drainage existant. Les zones proches du réseau de drainage ont été considérées comme étant celles de moins de 200 m (7% de la surface du sous-bassin du Niéri-Ko); la classification exacte est présentée dans le Tableau 1. En revanche, l'effet de ce critère a diminué pour les distances supérieures à 2000 m et qui représentent 36% de la surface du sous-bassin. La Figure 8 illustre les valeurs des cellules de l'indice D, qui suivent la géométrie du réseau de drainage, les valeurs les plus élevées étant situées dans la partie Est.

Naturellement, des paramètres supplémentaires peuvent être pris en compte en fonction des caractéristiques régionales spécifiques et de la disponibilité des données. Il peut s'agir de nouveaux paramètres, par exemple l'évapotranspiration ou des paramètres dérivés tels que le pic annuel maximum de précipitations, le nombre annuel moyen de jours de fortes précipitations et autres [4;30].

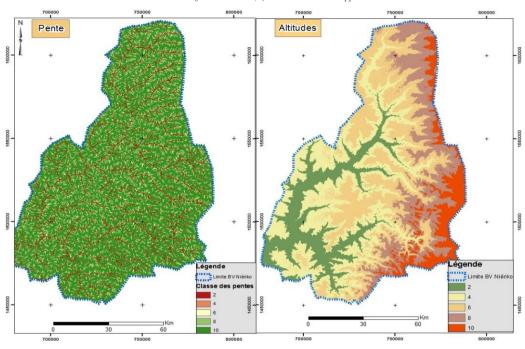


Figure 6 - Indice de pente (S) dans le bassin

Figure 7 - Indice d'élévation (E) dans le bassin

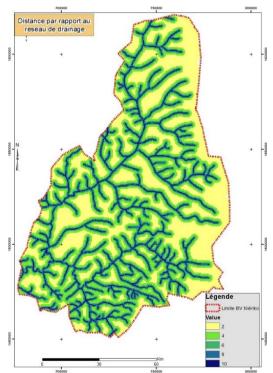


Figure 8 - Indice de distance par rapport au réseau de drainage (D) dans le bassin

Méthode: La méthode FIGUSED-S analyse les paramètres hydrogéologiques, morphologiques et socio-économiques cidessus et attribue un poids relatif à chaque facteur. La zone étudiée a ainsi été analysée spatialement, et chaque point de grille a été évalué pour chacun des sept paramètres. Chaque point de grille a ensuite été évalué sur une échelle allant de 2 à 10. La notation des paramètres dans la zone étudiée, ainsi que la zone correspondante et sa part sont indiquées dans le Tableau 1. Les valeurs acquises ont été traitées afin de calculer l'importance relative de chaque critère et le facteur de pondération correspondant (v). Ces pondérations relatives ont été déterminées par un processus analytique hiérarchique (AHP), dont les informations détaillées sont également disponibles dans l'étude de Kazakis et al. [14]. La caractéristique supplémentaire de la méthode FIGUSED-S par rapport à la méthode FIGUSED (-S dans l'acronyme) est le processus de validation réalisé par une analyse de sensibilité. Ainsi, la version validée de la méthode intègre également cette caractéristique statistique pour tenter de garantir que les poids des paramètres utilisés sont représentatifs. La réalisation d'une analyse de sensibilité est mise en évidence dans des méthodes similaires disponibles dans la littérature [31; 32; 33]. Une comparaison par paire a été effectuée pour le développement de la méthode FIGUSED, en utilisant une matrice. L'importance des différents paramètres a été déterminée à la suite de l'expérience dans la littérature ainsi que des suggestions spécifiques fournies par la consultation d'experts. En conséquence, l'outil de calcul matriciel du SIG a été utilisé pour superposer les paramètres évalués et ajuster les poids produits. En fonction des valeurs obtenues, une carte des risques d'inondation a été produite. Les sept paramètres ont influencé, avec le poids qui leur a été attribué (équation), la superposition de la carte.

FHIS =
$$1,2 \times F + 0,5 \times I + 0,4 \times G + 0,7 \times U + 1,6 \times S + 3,0 \times E + 2,5 \times D$$
 (1)

L'équation 1 montre les poids attribués à chacun des sept paramètres pour déterminer l'AHP. Il apparaît que les paramètres d'élévation et de distance par rapport au drainage jouent le rôle le plus important dans la définition du risque d'inondation. Cela montre que l'AHP permet d'interpréter les phénomènes physiques qui font que les zones de faible altitude situées à proximité du réseau de drainage sont particulièrement sujettes aux inondations. L'accumulation des inondations et l'utilisation de la couverture terrestre sont deux paramètres qui revêtent une grande importance pour la définition du risque d'inondation. L'intensité des précipitations et les paramètres géologiques semblent avoir un rôle moindre, selon l'AHP, même si 63,7% de la zone étudiée se situent dans les deux dernières classes du paramètre I. De plus, la variance du paramètre I est élevée (entre 145 et 215 mm). Dans les cas où cette variance est plus élevée [14], le poids du paramètre I semble augmenter.

RÉSULTATS

Le Tableau 1 indique la part des zones en fonction de leur risque d'inondation. Il apparaît que seulement 4,59 % de la surface du sous-bassin du Niéri-Koest confronté à un risque d'inondation très élevé, tandis que pour 38,17 % supplémentaires du sous-bassin, le risque d'aléa est élevé. Cela signifie que plus de 40 %du sous-bassinest soumis à un risque d'inondation élevé ou très élevé. De plus, 24,86 % de la zone est exposée à un risque d'aléa moyen et 25,73 % à un risque faible. En revanche, seulement 6,65 % du sous-bassin sont soumis à des risques d'inondation très faibles. La superposition pondérée des critères analysés a permis de créer la carte des risques d'inondation du sous-bassin du Niéri-Ko. Cette carte est illustrée à la Figure 9 et montre que les zones à risque d'inondation élevé/très élevé sont situées dans la partie proche du réseau de drainage Il est clair que le risque d'inondation suit le réseau de drainage, et les zones à risque sont celles situées près des ruisseaux. Plus important encore, on observe des villages situés dans des zones à risque d'inondation élevé ou très élevé. Par conséquent, les mesures d'atténuation des inondations doivent partir de ces endroits, afin de soutenir la résistance aux inondations des zones habitées.

L'application réussie de la méthode FIGUSED-S dans un petit bassin fluvial permet de vérifier l'adaptabilité de la méthode. En outre, cette étude constitue la base d'une future modification de cette méthode, en y ajoutant de nouveaux paramètres. En outre, une comparaison croisée des résultats obtenus avec des scénarios de simulation d'inondation peut encore améliorer la méthode FIGUSED-S. Enfin, il convient de mentionner que l'interaction entre les eaux souterraines et les eaux de surface est négligée dans la cartographie des risques d'inondation. Bien que le coefficient d'infiltration dans les formations géologiques soit pris en compte dans la méthode FIGUSED-S, la contribution des sources et de l'écoulement des eaux souterraines dans les rivières a été moins étudiée [4].

Les cartes des risques d'inondation peuvent être des outils utiles dans le cas où les résultats sont adaptés et passent à des mesures telles que les changements d'utilisation des terres et l'établissement de petits barrages dans les torrents. Les zones inondables sont sensibles aux modifications des forêts et peuvent changer radicalement le régime d'une région [33]. Les tempêtes provoquées par le changement climatique peuvent également exacerber les inondations [34; 35]. Plusieurs chercheurs ont proposé des stratégies détaillées pour atténuer les risques naturels [36]. Dans le sous-bassin du Niéri-Ko, les changements d'utilisation des terres dans les basses terres en conjonction avec des aménagements pourraient être la solution optimale pour atténuer les inondations. La présente étude intègre une combinaison linéaire pondérée (CLP) des différents paramètres. L'exigence fondamentale de cette approche est que les cartes d'attributs ne soient pas fortement corrélées ce soient indépendantes les unes des autres. Les cartes combinées illustrées dans la section 3 (Figures 2 à 8) ne sont pas fortement corrélées, ce qui permet d'utiliser la CLP. La question de savoir si la CLP est la meilleure technique pour cette application ou non est un sujet qui a fait l'objet d'un débat considérable parmi les universitaires [37]. Bien qu'il ne soit pas possible de fournir une réponse directe, il est certain que, grâce à son efficacité, la CLP est l'une des techniques basées sur les SIG les plus utilisées [4].

Table 1 - Classes des paramètres de la méthode FIGUSED-S et valeurs correspondantes

Paramètres Classes		Classement	Superficie (km²)	Part (%)
	0 - 60,000	2	11291,0724	99,7
T2 A 1	60,000.1- 250000	4	14,0013	0,27
F : Accumulation de flux	250000,1 - 500000	6	6,0006	0,055
de nux	500000,1 - 800000	8	5,0008	0,048
	800000,1 - 1257465	10	3,0003	0,030
	145 - 160	2	1802,23	15,92
I : Intensité des	160,1 - 175	4	1296,55	11,45
précipitations	175,1 - 190	6	1115,88	9,86
precipitations	190,1 - 200	8	4895,70	43,25
	200,1 - 215	10	2208,73	19,51
	Alluvion fluviatile récente	2	18,53	0,16
	Alternances de marnes à discocyclines et de calcaires jaunes à mollusques	4	318,77	2,82
G : Géologie	Grès bioturbés et argiles kaoloniques	6	7238,19	63,94
	Formation du Saloum/Formation de Matam	8	502,61	4,44
	Socle néoprotérozoique et paléozoique indifférencié	10	3240,96	28,63
	Forets et eaux libres	2	74,03	0,67
	Forêts galeries	4	304,82	2,74
U : Utilisation du	Zones de culture	6	2538,76	22,81
sol	Savanes arbustives	8	1461,42	13,13
	Savanes boisées/savanes boisées parsemées de steppes	10	7752	60,66
	0 - 8	10	743,1	6,56
	8,1 - 25	8	478	4,22
S : Pente	25,1 - 45	6	636	5,62
	45,1 - 70	4	1667	14,73
	70,1 - 90	2	7795	68,87
	11 - 55	2	1705,72	15
	55,1 - 75	4	3351,91	30
E: Elevation	75,1 - 100	6	3245,36	29
	100,1 - 120	8	2018,04	18
	120,1 - 177	10	975,59	9
	<200	10	808,36	7
D : Distance par	200-500	8	1191,00	11
rapport au	501-1000	6	1928,24	17
drainage	1001-2000	4	3322,59	29
	>2000	2	4068,85	36
	20,45 - 60	Très faible	752,26	6,65
EICHSED, Diagra-	60,1 - 90	Faible	2911,97	25,73
FIGUSED: Risque d'inondation	90,1 - 130	Modéré	2813,9	24,86
a mondation	130,1 - 170	Élevé	4320,94	38,17
	170,1 - 205	Très élevé	519,99	4,59

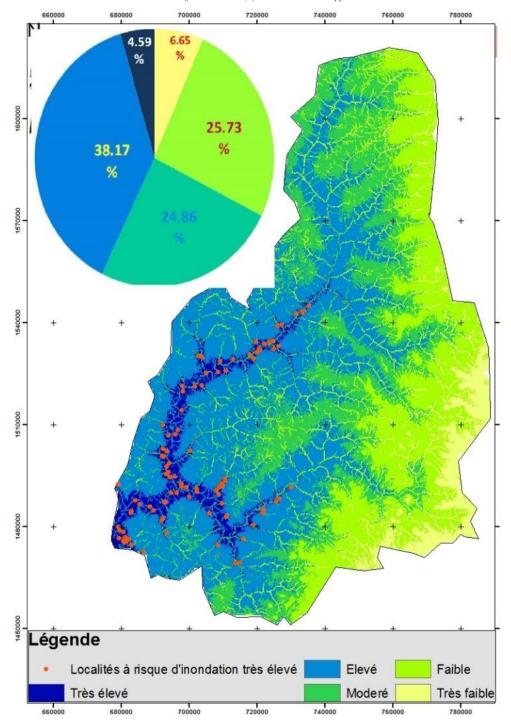


Figure 9 - Indice spatial de sensibilité aux risques d'inondation grâce à la méthodologie FIGUESD-S et pourcentage (%) de sensibilité aux inondations dans le bassin

DISCUSSION

La cartographie des risques d'inondation a été évaluée en fonction des données de l'accumulation de débit, de l'intensité des précipitations, de la géologie, de l'utilisation des terres, de la pente, de l'altitude et la distance par rapport au réseau de drainage. Il convient de noter attentivement que les zones utilisées sont les zones à risque d'inondations telles qu'identifiées par la direction d'écoulement et l'accumulation d'écoulement de l'eau [38]. L'accumulation d'eau d'écoulement se produit à la suite d'une pluie excessive causant plus de dommages aux terrains de construction. La methode d'analyse hierarchichée (AHP) a été largement utilisé dans l'évaluation des risques naturels. Dans la littérature actuelle, on peut trouver des options modifiées et des approches hybrides, telles que l'AHP floue [39] et l'AHP assistée par simulation de Monte Carlo (MC-AHP) [40], qui ont toutes deux étés utilisées dans l'évaluation des risques d'inondation. L'AHP a également été intégrée à un modèle d'évaluation de la pertinence pour évaluer les risques d'inondation de manière spatiale [41]. Dans une approche différente, Liu et al. [42] ont récemment utilisé une approche naïve de Bayes pour évaluer spatialement les risques d'inondation dans leur modèle basé sur le SIG. Des études antérieures [43 ; 44] ont analysé et présenté des prévisions de crues à une résolution de 100 m. Cependant, afin de déterminer et valider les zones sujettes à cet aléa naturel, il est essentiel de disposer de données à haute résolution [45]. Des approches similaires ont été testées en utilisant l'imagerie satellitaire à différentes résolutions spatiales [46], parallèlement à diverses techniques de traitement d'image. De telles approches présentent un grand potentiel dans les zones où les observations au sol sont rares ou insuffisantes. Les auteurs ont l'intention de combiner la méthodologie de l'indice présentée avec des modèles de simulation, en développant une méthodologie plus sophistiquée qui couple les résultats des deux modèles. L'échelle d'une telle analyse est celle du bassin fluvial. A ce jour, Vu et Ranzi [47] ont développé le modèle FLO-2D et l'ont appliqué dans la province côtière de Quang Ngai au Vietnam afin d'estimer la profondeur, la durée et la vitesse des inondations. Cependant, dans de nombreux cas, le manque de données fiables entrave les processus de simulation. Ce problème, en particulier pour l'évaluation des risques d'inondation, a été souligné par Kabenge et al. [48] dans leurs récents travaux. La présente étude a montré qu'il est possible d'obtenir les zones sujettes aux inondations et aux crues soudaines grâce à des techniques d'apprentissage automatique et des méthodes statistiques. L'obtention des deux indices par la corrélation spatiale des variables de conditionnement des crues et des crues éclair représente un outil utile pour évaluer les zones sujettes à ces types de risques naturels. Cette méthodologie utilise des technologies et des données open-source, ce qui est pertinent pour les chercheurs car le processus d'obtention de données représente un obstacle important dans le développement de méthodologies et d'études pertinentes dans l'analyse de divers risques naturels. La présente étude propose le calcul des deux indices qui ont été mis en évidence dans de nombreuses études visant à déterminer les zones sujettes à ces risques naturels. Les résultats de l'analyse rendent cette étude pertinente, car d'autres études [4; 38; 45] proposent le calcul d'un seul indice pour créer des cartes de risques. Les modèles développés constituent un support d'aide aux décisions prises en matière de gestion et d'élargissement des politiques publiques visant à atténuer les risques naturels. Les résultats obtenus montrent la nécessité de compléter des approches similaires [45; 49; 50] avec de nouvelles variables, ce qui augmentera la pertinence des techniques de modélisation avancées. En fin l'étude montre l'importance de développer des méthodologies pour évaluer les zones vulnérables aux inondations dans un contexte d'accélération des événements climatiques mais aussi d'intensification de l'utilisation des terres en constante évolution. Il est ainsi nécessaire et impératif de développer de nouvelles méthodologies avec de nouvelles approches et, plus important encore, d'obtenir des résultats plus décisifs.

CONCLUSION

La méthode FIGUSED-S a été principalement développée pour l'évaluation des dangers régionaux. Nous montrons ici une application de la méthode à un bassin hydrologique. Les résultats ont indiqué que seulement 6,65% des zones dans le sousbassin du Niéri-Ko sont classées comme non sensibles aux inondations, 25,7% sont classées comme peu sensibles aux inondations, 24.86% sont classées comme movennement sensibles aux inondations, 38,17% sont classés comme sensibles aux inondations et 4,59% sont classés comme très sensibles aux inondations. La majorité des zones de la forte sensibilité aux inondations se concentre le long des ruisseaux du sous-bassin et est occupée par la savane. Par ailleurs, le sous-bassin du Niéri-Ko est caractérisé par le développement d'intenses activités agricoles et d'élevage. Par conséquent, la carte des risques d'inondation fournie peut être utilisée pour la prévention des inondations, l'adaptation des stratégies d'atténuation et/ou des mesures de protection. Une autre étape de cette étude a été la simulation des inondations afin de déterminer la profondeur, la durée et la vitesse des inondations, ainsi que de quantifier l'interaction entre les eaux souterraines et les eaux de surface lors des inondations. Car le couplage des informations hydrologiques obtenues avec les outils analytiques de gestion des ressources en eau peut permettre de concevoir des stratégies pour l'allocation optimale de la ressource en eau [51] et la minimisation du risque d'inondation. Cela permet également de mieux utiliser les infrastructures existantes dans les zones rurales éloignées, comme les barrages d'irrigation [52], de manière intégrée. En fin les méthodes utilisées peuvent être appliquées au niveau national ou sur différents bassins versants, compte tenu de l'augmentation de l'intensité des événements climatiques et des activités anthropiques qui ont néanmoins un impact direct sur la manifestation des inondations. L'évaluation des risques d'inondation, en corrélant les paramètres de divers facteurs qui ont un impact direct sur la génération d'inondations, avec les changements d'occupation du sol les emplacements historiques des crues et les zones affectées par la torrentialité, représente un outil vital dans la gestion des bassins versants pour mettre en œuvre des stratégies de prévention de ces types de risques naturels afin d'éviter ou d'amoindrir sur les pertes en vie humaine et tout dommages dans les activités socio-économiques. Ainsi, un modèle hydrologique distribué présente l'avantage de réaliser des simulations spatialement raffinées de composants hydrologiques sur une vaste zone tout en augmentant la précision des données et offre davantage de possibilité dans l'exécuter des modèles à grande échelle, avec de faibles coûts.

Références

- 1. Fiorillo E. Issa H. Rocchi L et Tarchiani V., 2015. Manuel de la base de données des inondations. Rapport N° 5. Projet AdaptatioN Au changement climatique, prévention des catastrophes et Développement agrIcole pour la sécurité Alimentaire ANADIA Niger Projet AdaptatioN Au changement climatique, prévention des catastrophes et Développement agrIcole pour la sécurité Alimentaire. 37 p.
- 2. Mamadou I. A.A., 2016. Gestion des eaux pluviales et risques environnementaux dans la ville de Tessaoua (Région de Maradi) au Niger. Revue Territoires, Sociétés et Environnement, Revue scientifique semestrielle (Territoires, Sociétés et Environnement), Université de Zinder, N°007, p. 130-120.
- 3. Kowalzig, J. 2008. Climate, Poverty, and Justice: What the Poznan UN climate conference needs to deliver for a fair and effective global deal. Oxfam Policy Pract. Clim. Chang. Resil., 4, 117–148.
- 4. Patrikaki O., Kazakis N., Kougias I., Patsialis T., Theodossiou N. and Konstantinos V., 2018. Assessing Flood Hazard at River Basin Scale with an Index-Based Approach: The Case of Mouriki, Greece. Geosciences, 8(2), 50. https://doi.org/10.3390/geosciences8020050.
- 5. Plan ORSEC, 2009. Données du Plan ORSEC et des Municipalités au 23 Septembre 2009.
- 6. Thiam M. D., 2011. Les syndromes des inondations au Sénégal. Presses Universitaires du Sahel, 224 p.
- Kourgialas N.N., Karatzas G.P., 2011. Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—A
 case study. Hydrol. Sci. J., 56, 212–225.
- 8. Kourgialas N.N., Karatzas G.P., 2017. A national scale flood hazard mapping methodology: The case of Greece–Protection and adaptation policy approaches. *Sci. Total Environ*, 601, 441–452.
- 9. Nasiri H., Yusof M.J.M., Ali T.A.M., 2016. An overview to flood vulnerability assessment methods. *Sustain. Water Resour. Manag.*, 2, 331–336.
- 10. Papaioannou G., Loukas A., Vasiliades L., Aronica, G., 2016. Flood inundation mapping sensitivity to riverine spatial resolution and modelling approach. *Nat. Hazards*, 83, 117–132.
- 11. Wallez L., 2010. Inondations dans les villes d'Afrique de l'Ouest. diagnostic et éléments de renforcement des capacités d'adaptation dans le Grand Cotonou, Maitrise en environnement de l'université de Sherbrooke (Québec, Canada) & Master en ingénierie et management de l'environnement et développement durable de l'université de technologie de Troyes (France). 90 p.
- 12. Cutter SL, Emrich CT, Webb JJ, Morath D., 2009. Social vulnerability to climate variability hazards: a review of the literature. Final report to Oxfam America. Columbia, South Carolina: Hazards and Vulnerability Research Institute, University of South Carolina. http://adapt.oxfamamerica.org/resources/Literature_Review.pdf. Accessed on 4 Feb 2013.
- 13. Domakinis C., Oikonomdis D., Voudouris K., Astaras T., 2004. Using geographic information systems (GIS) and remote sensing to map flood extent and to assess flood hazard in erythropotamos river basin (Evros, Greece). In Proceedings of the 10th International Congress of the Hellenic Geographical Society, Thessaloniki, Greece, 22–24 October 2014, pp. 689– 709.
- 14. Kazakis N., Kougias I., Patsialis T., 2015. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope—Evros region, Greece. Sci. Total Environ., 538, 555–563.
- 15. Tsitroulis I., Voudouris K., Vasileiou A., Mattas C., Sapountzis M., Maris F., 2016. Flood hazard assessment and delimitation of the likely flood hazard zones of the upper part in Gallikos River Basin. In Proceedings of the 14th International Conference, Thessaloniki, Greece, 25–27 May, pp. 995–1004.
- Correia F.N., Da Silva F.N., Ramos I. 1999. Floodplain management in urban developing areas. Part I. Urban growth scenarios and land-use controls. Water Resour. Manag., 13, 1–21.
- 17. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). 2012. Global Modelling of Natural Hazard Risks: Enhancing Existing Capabilities to Address New Challenges, Report, Organisation for Economic Co-operation and Development: Paris, France.
- Chapi K., Singh V.P., Shirzadi A., Shahabi H., Bui D.T., Pham B.T., Khosravi K. 2017. A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. Environ. Model. Softw., 95, 229–245.
- 19. Kaur H., Gupta S., Parkash S., Thapa R., Mandal R. 2017. Geospatial modelling of flood susceptibility pattern in a subtropical area of West Bengal, India. *Environ. Earth Sci.*, 76, 339.
- 20. Termeh S.V.R., Kornejady A., Pourghasemi H.R., Keesstra S. 2018. Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. Sci. Total Emiron., 615, 438–451.
- 21. Hong H., Panahi M., Shirzadi A., Ma T., Liu J., Zhu A.X., Chen W., Kougias I., Kazakis N. 2017. Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neuro-fuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution. Sci. Total Emiron., 621, 1124–1141.
- 22. Zhao G., Pang B., Xu Z., Yue J., Tu T. 2018. Mapping flood susceptibility in mountainous areas on a national scale in China. Sci. Total Environ., 615, 1133–1142.
- 23. Lamagat J.P., 1989. Monographie hydrologique du fleuve Gambie Collection M&m. ORSTOM-OMVG, 250 p.
- 24. Dione O., 1996. Evolution climatique récente et dynamique fluviale dans les hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Thèse de doctorat, Université Lyon 3 Jean Moulin, 477 p.
- 25. Sow A. A., 2007. L'hydrologie du Sud-est du Sénégal et de ses Confins guinéo-maliens. les bassins de la Gambie et de la Falémé. Thèse d'Etat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 1232 p.

- Kaba M., 2008. Etude des crues et des étiages dans le bassin versant du Nieri-Ko. Mémoire de Maitrise, Université Cheikh Anta Diop (UCAD)
- 27. Patrikaki O., 2009. Hydrogeological Research of Potamia Basin, in Kozani Prefecture, in Northern Greece. Ph.D. Thesis, Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece. (In Greek)
- 28. Bossard M., Feranec J., Otahel J., Steenmans C. 2000. The Revised and Supplemented Corine Land Cover Nomenclature, European Environment Agency: Copenhagen, Denmark.
- 29. Demek J. 1972: Manual of Detailed Geomorphological Mapping, Academia: San Francisco, CA, USA.
- 30. Liu R., Chen Y., Wu J., Gao L., Barrett D., Xu T., Li X., Li L., Huang C., Yu J. 2017. Integrating Entropy-Based Naïve Bayes and GIS for Spatial Evaluation of Flood Hazard. Risk Anal., 37, 756–773.
- Gao L., Hailu A., 2013. Identifying preferred management options: An integrated agent-based recreational fishing simulation model with an AHP-TOPSIS evaluation method. Ecol. Model., 249, 75–83.
- 32. Zhang X., Gao L., Barrett D., Chen Y., 2014. Evaluating water management practice for sustainable mining. *Water*, 6, 414–433.
- 33. Bhattacharjee K., Behera B., 2017. Forest cover change and flood hazards in India. Land Use Policy, 67, 436-448.
- 34. Clark G.E., Moser S.C., Ratick S.J., Dow, K., Meyer W.B., Emani S., Jin W., Kasperson J.X., Kasperson R.E., Schwarz H.E., 1998. Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere, MA., USA. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, 3, 59–82.
- 35. Ratick S.J., Morehouse H., Klimberg R.K., 2009. Creating an index of vulnerability to severe coastal storms along the North Shore of Boston. In Financial Modeling Applications and Data Envelopment Applications, Emerald Group Publishing Limited: Bingley, UK, pp. 143–178.
- 36. Runfola D.M., Ratick S., Blue J., Machado E.A., Hiremath N., Giner N., White K., Arnold J., 2017. A multi-criteria geographic information systems approach for the measurement of vulnerability to climate change. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang*, 22, 349–368.
- 37. Malczewski, J., 2000. On the use of weighted linear combination method in GIS: Common and best practice approaches. *Trans. GIS* 4, 5–22.
- 38. Hamid A H.T., Wenlong W., Qiaomin L., 2020. Environmental sensitivity of flash flood hazard using geospatial techniques. Global J. Environ. Sci. Manage. 5(1), 2-17.
- 39. Xiao Y., Yi S., Tang, Z., 2017. Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference. Sci. Total Emiron., 599, 1034.
- Dahri N., Abida H., 2017. Monte Carlo simulation-aided analytical hierarchy process (AHP) for flood susceptibility mapping in Gabes Basin (southeastern Tunisia). Environ. Earth Sci., 76, 302.
- Chen Y., Liu R., Barrett D., Gao L., Zhou M., Renzullo L., Emelyanova I., 2015. A spatial assessment framework for evaluating flood risk under extreme climates. Sci. Total Environ., 538, 512–523.
- 42. Liu R., Chen Y., Wu J., Gao L., Barrett D., Xu T., Li L., Huang C., Yu J., 2016. Assessing spatial likelihood of flooding hazard using naïve Bayes and GIS: A case study in Bowen Basin, Australia. Stoch. Environ. Res. Risk Assess., 30, 1575–1590.
- 43. Feyen L., Dankers R., Bódis K., Salamon P., Barredo J., 2012: Fluvial flood risk in Europe in present and future climates. Clim. Chang., 112, 47–62.
- 44. Veijalainen N., 2012. Estimation of Climate Change Impacts on Hydrology and Floods in Finland; Aalto University: Helsinki, Finland, ISBN 978-952-60-4614-3.
- Cao C., Xu P., Wang Y., Chen J., Zheng L., Niu C., 2016. Flash Flood Hazard Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio and Statistical Index Methods in Coalmine Subsidence Areas. Sustainability, 8, 948.
- 46. Westerho R.S., Kleuskens M.P.H., Winsemius H.C., Huizinga H.J., Brakenridge G.R., Bishop C., 2013: Automated global water mapping based on wide-swath orbital synthetic-aperture radar. Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 651–663.
- 47. Vu T.T., Ranzi R., 2017. Flood risk assessment and coping capacity of floods in central Vietnam. *J. Hydro-Environ. Res.*, 14, 44–60.
- 48. Kabenge M., Elaru J., Wang H., Li F. 2017. Characterizing flood hazard risk in data-scarce areas, using a remote sensing and GIS-based flood hazard index. Nat. Hazards, 89, 1369–1387.
- 49. Costache R., Zaharia L., 2017. Flash-flood potential assessment and mapping by integrating the weights-of-evidence and frequency ratio statistical methods in GIS environment—Case study: Bâsca Chiojdului River catchment (Romania). J. Earth Syst. Sci., 126, 59.
- 50. Costache R., Tien Bui D., 2019. Spatial prediction of flood potential using new ensembles of bivariate statistics and artificial intelligence: A case study at the Putna river catchment of Romania. Sci. Total Environ., 691, 1098–1118.
- 51. Kougias I., Karakatsanis D., Malatras A., Monforti-Ferrario F., Theodossiou N., 2016: Renewable energy production management with a new harmony search optimization toolkit. Clean Technol. Environ. Policy, 18, 2603–2612.
- 52. Patsialis T., Kougias I., Kazakis N., Theodossiou N., Droege P. 2016. Supporting Renewables' Penetration in Remote Areas through the Transformation of Non-Powered Dams. *Energies*, *9*, 1054.

Mbuangi Lusuadi Maurice and Ntoto M'vubu Alphonse Roger La consommation du charbon de bois dans la ville de Boma (RDCongo) :

enjeux socioéconomiques et écologiques

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,

Vol.(vi), No.1, Avril 2021, pp. 52-61

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



La consommation du charbon de bois dans la ville de Boma (RDCongo) : enjeux socioéconomiques et écologiques

Mbuangi Lusuadi Maurice 1 and Ntoto M'vubu Alphonse Roger

- 1. Chercheur Université Joseph Kasa Vubu, Boma/RDC, Doctorant Université de Kisangani/RDC
- 2. Professeur, Université de Kinshasa, RDC

Résumé:

En République démocratique du Congo, le charbon de bois est un bien de première nécessité pour les ménages. En effet, suite aux défaillances de la distribution en énergie électrique et des habitudes acquises par les populations urbaines, la consommation du charbon de bois ne fait que croître. Ce qui provoque des inquiétudes dans la gestion durable de la forêt même si sa contribution dans le vécu quotidien est indispensable.

La ville de Boma et sa périphérie n'échappent pas à cette situation. En effet, hien que desservie en énergie électrique, l'utilisation du charbon de bois est généralisée. Ce produit compense la carence de l'énergie électrique dans la cuisson des repas et mobilise des revenus importants, mais engendre des conséquences néfastes dans la périphérie urbaine de Boma, dans laquelle se retrouve la réserve de biosphère de Luki, forêt classée menacée par la pression anthropique. Elle est également source de pollution de l'environnement et des maux que son utilisation provoque.

Mots-clés: République démocratique du Congo, Charbon de bois, gestion durable, forêt, déforestation

The consumption of charcoal in the city of Boma (DRCongo): socioeconomic and ecological issues

Abstract:

In Democratic Republic of Congo, the charcoal is a basic good for households. Indeed because of the problems of the electric's distribution and urban's population habits, charcoal consumption grows positively. For sustainable forest management, this situation causes concerns, despite his contribution in household survival.

Boma and its outskirts don't escape this situation. The town is served in electrical energy but has serious problems in its distribution, thus the majority of its population uses charcoal. In fact, this product compensates for the lack of electricity and mobilizes significant income, but destroy the forest and pollutes the environment. Its use is so harmful to health. It must also be reported that charcoal uses in Boma constitutes, for the biosphere reserve of Luki, a very big threat. This is why solutions must be found.

Key Words: Democratic republic of Congo, Charcoal, sustainable management, forest, deforestation

_

¹ Corresponding author: mbnls4@gmail.com

INTRODUCTION

Les ressources naturelles (fossiles et minérales, matériaux issus du milieu naturel, terres arables...) constituent des atouts majeurs pour le développement économique d'une société. Leur exploitation fournit des facteurs de production importants pour l'économie tant locale, nationale qu'internationale. Certains minerais par exemple sont des matières premières très recherchées sur le marché mondial et pourvoyeurs de devises pour les pays qui les produisent. La République démocratique du Congo, par exemple, avec ses 2,3 millions de Km² de superficie, contient plus de 1100 substances minérales différentes (MARIE MANZALTO, 2008), pour une valeur estimée à 3700 milliards de dollars américains (MUPEPELE MONTI, 2012). Ce potentiel minier, exploité rationnellement, peut se transformer en richesse réelle en vue d'un développement économique et social du pays. En plus des minerais, elle possède une ressource forestière d'au moins « 2 millions de km², dont à peu près la moitié est couverte de la forêt pluviale à canopée haute et fermée et l'autre moitié de forêts ouvertes et de savanes boisées. Elle abrite quelques 10.000 espèces de plantes, 409 espèces de mammifères, 1117 espèces d'oiseaux et 400 espèces de poissons » (COUNSELL, 2006). De même, ces forêts peuvent jouer un rôle très important, car elles sont considérées non seulement comme un support de vie pour la population, mais également comme un pilier de développement. Les forêts fournissent un large éventail d'avantages économiques et sociaux, qu'il s'agisse de valeurs économiques facilement quantifiées, associées aux produits forestiers ou de services et contributions moins tangibles apportés à la société. Ces avantages sont obtenus par l'exploitation forestière qui offre des biens et produits pour la satisfaction des besoins des populations. Et le charbon de bois est, dans le contexte des pays pauvres, une source d'énergie pour les ménages. Ce qui en fait un bien de première nécessité. En effet, Madon (2017) a reconnu que l'Afrique a produit 32,4 millions de tonnes de charbon de bois en 2015, et la production devrait dépasser les 50 millions de tonnes d'ici 2030, si rien n'est fait pour changer la tendance.

Quelques études se sont déjà intéressées à la consommation du charbon de bois dans les grandes villes de la République démocratique du Congo comme Kinshasa, Lubumbashi, Kisangani et Bukavu. Aucune ne s'est penché sur la problématique de la carbonisation au sein de la ville de Boma. Et pourtant, Boma est une ville de la province du Kongo central, où la forêt a été la plus exploitée de toutes les provinces du pays, avec un taux de déboisement annuel de 0,6%, soit trois fois supérieure à la moyenne nationale de 0,2 %. Pareillement, le bois y représente plus de 90% de la consommation énergétique des ménages, soit comme bois de chauffe, soit comme charbon (GROUPE DE LA BANQUE MONDIALE, 2016). En plus, la ville de Boma se situe à 30 km de la réserve de biosphère de Luki, laquelle subit actuellement des fortes pressions anthropiques et menacée par les coupes illégales, la carbonisation, le braconnage et l'agriculture itinérante, qui réduisent en cendres des pans de forêt. Son taux de déforestation est estimé à 0,7%, soit une perte de 65,6 ha par année (KONDJO, 2006). Au regard de cette situation, plusieurs questions sont posées et méritent des réponses appropriées pour que des solutions adéquates soient rouvées. Par exemple, quels sont les déterminants dans la consommation du charbon de bois dans la ville de Boma ? Quelles sont les quantités consommées journalièrement, mensuellement et annuellement dans la ville ? Cette consommation du charbon de bois , permet-elle une gestion durable de la forêt de sa périphérie ? Et quelles sont les perspectives à envisager profiter davantage des bienfaits du charbon de bois et atténuer ses menaces ?

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Cadre géographique et socioéconomique de l'étude

Boma est une ville de la République démocratique du Congo. Elle est située au Sud-Ouest du pays, au bord du fleuve Congo (latitude entre 3° et 5° Sud, longitude entre 11° et 13° Est et à une altitude d'au moins 500 m). Elle se trouve à 470 Km de la ville de Kinshasa, 120 Km de Matadi (le chef -lieu du Kongo Central) et 110 Km de la cité côtière de Moanda. Sa superficie était de 62 Km² en 2012, mais avec le temps et l'extension de la ville, l'on sait que cette superficie a sensiblement augmenté. Elle avoisine, de nos jours, 100 km² (Cadastre de Boma, 2020). Cette ville est traversée dans sa longueur par la rivière Kalamu qui la divise en deux, mais il y a également les rivières Sindi, Mbangu et Kabondo qui passent par certains de ses quartiers. Au Sud de cette ville se trouve le fleuve Congo qui fait frontière avec l'Angola.

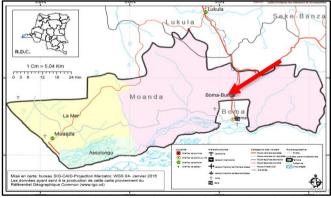


Figure 1. La ville de Boma dans la province du Kongo Central en RDC

Administrativement, Boma. Celle-ci est dirigée par un maire de ville et possède trois communes : Kabondo, Kalamu et Nzadi dirigées chacune par un bourgmestre.

Boma est habité par les Bakongo ya Boma, les Bayombe, les Woyo et les Assolongo. Il faut signaler que parmi ces ethnies, les Bayombe sont les plus nombreux. Au cours de l'année 2020, la population de Boma était évaluée à 247.419 habitants (ZONE DE SANTE DE BOMA, 2020). Boma est une ville portuaire. Son économie est donc assise sur les activités portuaires et celles connexes. Ce qui est justifié par la présence des entreprises directement liées aux activités portuaires : la Congolaise des Voies Maritimes (CVM), chargé du dragage du bief maritime du fleuve Congo, et de la Société Congolaise des Transports et des Ports (SCTP), gestionnaire du port de Boma. A côté de ces entreprises, des services ont été également crées pour remplir des tâches bien précises. Il s'agit de l'Office Congolais de Contrôle (OCC) qui est chargé de s'assurer de la qualité des marchandises importées en République démocratique du Congo, de la Direction générale des Douanes et Accises (DGDA) qui perçoit les taxes douanières au port de Boma. A ces deux services s'ajoutent plusieurs agences douanières. En dehors des entreprises et services directement liés aux activités portuaires, d'autres, bien que de petites tailles, existent et jouent un rôle important dans l'économie de la ville. Il s'agit par exemple de l'entreprise Congo Oil and Derivated (COD) qui purifie l'huile de palme et de l'entreprise générale d'alimentation et de logistique (EGAL) pour l'importation des vivres frais, de la Régideso pour la distribution d'eau, de la SNEL pour la desserte en énergie électrique du barrage d'Inga, des infrastructures sanitaires avec la présence d'un hôpital général de référence, des entreprises de télécommunication ((Orange, Vodacom, Airtel et Africell), des institutions financières (Banques, coopératives d'épargne et microcrédits), l'administration publique avec la présence d'une mairie, trois communes, d'une région militaire et d'un commandement de la police nationale, des institutions d'enseignement tant primaires, secondaires qu'universitaires, d'une service hôtelier et bien d'autres. En outre, Boma est la plus grande ville de cette partie du pays. Ainsi, elle dispose d'une activité commerciale importante pour l'échange intérieur et extérieur. Elle renferme des grands magasins au centre-ville et des boutiques tant dans ses grands marchés que les longs de ses avenues. Le transport interurbain y est également organisé grâce à des voitures taxis, des bus et des taxis motos. Pour ses échanges commerciaux avec l'Angola, Boma dispose d'un petit port. Dans la ville de Boma, un aspect essentiel doit être souligné, celui de la présence d'une population agricole importante, laquelle se fait remarquer par son empressement dans les lieux d'embarquement dans les véhicules (la plus grande partie se dirige vers le Nord et l'Est de la ville) et une présence importante des cultures maraîchères le long de la rivière Kalamu et les bas-fonds marécageux de la ville comme les sites de Gbado, de Kikuku et la Plaine située à l'ancien aérodrome de la ville.

A côté de toutes ces activités et services formels, se développe également un secteur informel qui rassemble des métiers de tout genre : la vente à la sauvette, la restauration de fortune (Malewa), la pêche dans le fleuve Congo, les garages, les ateliers de menuiserie, les réparateurs des motos et des pneus (Quado) sans oublier l'intense activité de vente des biens de seconde main en provenance de l'occident (Bilokos).

Méthode

Répondre aux préoccupations soulevées par cette étude a nécessité l'utilisation des approches quantitative et qualitative. L'approche quantitative a permis de recourir à la collecte des données quantitatives moyennant un questionnaire d'enquête auprès des ménages faisant partie de l'échantillon. La taille de l'échantillon, étant dictée par le degré de précision visé pour une extrapolation correcte des résultats de l'enquête, celui—ci a été déterminée par la loi de Bernoulli selon la formule suivante :

$$n = \frac{(1,96)^2 \times N}{(1,96)^2 \times 1^2 \times (N-1)}$$
 où n = taille de l'échantillon, N = taille de la population totale et l = largeur de la fourchette exprimant la marge d'erreur.

Voilà pourquoi, étant donné que la population de Boma pour l'année 2020 (voir tableau 1) est de 247.419 habitants avec 41.237 ménages et avec un intervalle de confiance de 5%¹, en appliquant la formule ci-dessus, il est trouvé ce qui suit :

$$n = \frac{(1,96)^2 \times 41.237}{(1,96)^2 \times (0,05)^2 \times (41.237 - 1)} = 400,01 \text{ ménages}$$

Ainsi, partant de cette formule, l'effectif minimal des ménages à enquêter au sein de la ville de Boma était de 400 ménages. A ce niveau, il est important de souligner que la sélection des ménages à enquêter était effectuée sur base d'un échantillon aléatoire et systématique. Elle a également tenu compte de l'importance démographique de chaque commune de la ville. A Boma, la commune de Kalamu est la plus peuplée tandis que celle de Nzadi est la moins habitée.

Tableau 1: De la répartition de la population de Boma par commune (Année 2020)

	Kabondo	Kalamu	Nzadi	Total
Nbre d'habitants	86 597	121 235	39 587	247 419
Nbre de ménages	14 433	20 206	6 598	41 237
Nbre de ménages à enquêter	140	196	64	400

Source: Zone de Santé de Boma, 2020

 $^{^1\}mathrm{Dans}$ cette formule, l'intervalle de confiance varie entre 12 et 5 %

Partant de ce tableau, le poids démographique de chaque commune par rapport à l'ensemble de la population a été dégagé. Les quotients² qui sont dégagés sont de 0,49 pour Kalamu, 0,16 pour Nzadi et 0,35 pour Kabondo. Chaque quotient a été multiplié par la taille de l'échantillon de la ville. Ce qui a donné le nombre de ménages à enquêter par commune. Ainsi, l'enquête a porté sur 196 ménages de Kalamu, 64 ménages de Nzadi et 140 ménages de Kabondo. Etant donné que cette étude s'intéresse à la quantification du charbon de bois consommé par les ménages, il a fallu découvrir le poids moyen d'un sac et celui d'un tas vendu à 500 FC. Ainsi, 15 sacs et 15 tas de 500 Francs Congolais d'origine diverse ont été pesés. Ce qui a donné une moyenne de 2,00 Kg pour le tas et 40,50 Kg le sac. Pour la conversion entre le poids de charbon (en tonnes) et le volume de bois (m3), les facteurs de conversion utilisés sont : 1 tonne de charbon = 6,67 tonnes d'équivalent bois soit un rendement de 15% (FAO, 2009). L'approche qualitative, de son côté, a fait appel à des entretiens avec certaines personnes ressources pour décrire et découvrir le sens révélé par la carbonisation du bois et sa consommation dans la ville de Boma (PAILLE ET MUCCHIELLI, 2008). Ce qui a aussi aidé à comprendre les avantages et inconvénients de la consommation du charbon de bois. Ces entretiens ont favorisé la prise en compte des différentes positions sociales des interlocuteurs de manière à objectiver leurs points de vue en comparant les informations récoltées (COMBESIE, 2003). Ils ont en outre permis d'aborder les stratégies envisagées pour pérenniser la carbonisation du bois et que l'utilisation du charbon de bois. C'est pourquoi, des entretiens libres avec les responsables de la société nationale d'électricité (SNEL), le chargé du service de l'environnement et de l'énergie, ainsi que deux chercheurs de l'université Kasa Vubu de Boma ont été organisés.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Caractéristiques sociodémographiques des enquêtés

Il s'agissait de faire ressortir le sexe de la personne enquêtée, sa situation matrimoniale, son âge et la taille de son ménage.

Tableau 2 : Caractéristiques sociodémographiques des enquêtés

Variables	Modalités	Effectifs	Pourcentages
Sexe	Masculin	66	16,5
	Féminin	334	83,5
Age de l'enquêté	Adulte	324	81
- · ·	Jeune	76	19
Situation matrimoniale	Marié	251	62,8
	Célibataire	128	32
	Divorcé	16	4
	Veuf(ve)	5	1.2
Taille du ménage	Jusqu'à 5 personnes	232	58
_	De 6 à 10 personnes	153	38,2
	Plus de10 personnes	15	3,8

Source: Nos enquêtes, Janvier - Mars 2020

De ce tableau, il ressort que l'enquête sur la consommation du charbon de bois dans les ménages de Boma a plus concerné les femmes (83,5 %). Ce qui est tout à fait normal, parce que la gestion du charbon de bois de manière particulière et du ménage en général, dans le contexte congolais, concerne plus les femmes. Les adultes ont été également plus intéressés à répondre aux questions des enquêtés avec une proportion de 81 %. Parmi les 400 ménages enquêtés, 251 ménages (soit 62,8%) sont mariés et 232 soit 58 % hébergent jusqu'à 5 personnes au sein de leurs ménages.

Disponibilité de l'énergie dans la ville

Dans la ville de Boma, les ménages recourent aux énergies ci-après :

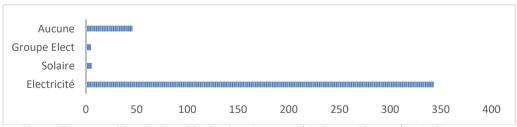
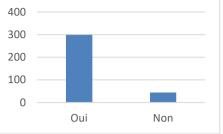


Figure 2. Des sources d'énergies disponibles dans les ménages enquêtés (Source : Nos enquêtes, 2020)
Cette figure montre bien que presque la population de Boma recourt à trois types d'énergies dans leurs ménages : l'électricité du barrage d'Inga, les groupes électrogènes et l'énergie solaire. L'énergie électrique est la plus utilisée (343 ménages, soit 85,8 %). Une proportion de 11,5 % de ménages n'ont aucune source d'énergie.

²Ces quotients sont obtenus en divisant le nombre d'habitants de la commune par l'ensemble de la population de Boma.

Seulement, malgré ce pourcentage élevé des ménages disposant de l'énergie électrique, sa distribution n'est pas efficace, parce que celle-ci est, soit interrompue (délestage), soit qu'il y a des coupures sans avertissement tout au long de la journée. Et la situation se présente de la manière suivante :



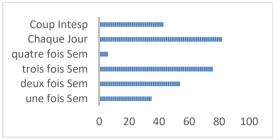


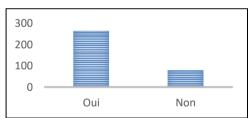
Figure 3. Existence ou non du délestage

Figure 4. Rythme des coupures

La figure 3 montre que sur les 343 ménages pourvu de l'énergie électrique, 299 ménages (soit 87,2 %) ont reconnu l'existence des délestages ou des coupures d'électricité. Seulement 44 ménages, soit 12,8 % n'ont pas reconnu être soumis au délestage dans leurs quartiers, mais à des coupures électriques. Quant au rythme de ces coupures (Figure 4), 15,4 % de ménages ont reconnu les coupures électriques intempestives dans leurs quartiers, 27,4 % des délestages journaliers (Ce qui signifie qu'ils disposent de l'énergie électriques soit la journée seulement, soit au cours de la nuit). Les autres ménages subissent des délestages une, deux, trois ou quatre fois par semaine.

Possession d'un réchaud électrique et son utilisation

Boma est une ville et la modernité exige la détention de certains biens comme le réchaud électrique pour la cuisson des repas. Face à la situation décrite ci-haut (interruption dans la fourniture de l'énergie électrique), voici la situation de la possession d'un réchaud électrique et de son utilisation.



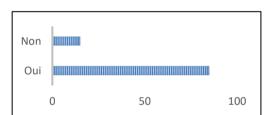


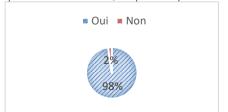
Figure 5. Possession d'un réchaud électrique

Figure 6. Utilisation ou non du réchaud

La figure 5 fait connaître que parmi les 343 ménages ayant l'électricité comme source d'énergie dans leurs ménages, 264 soit 77 % sont propriétaires des réchauds électriques. Malheureusement, 15,1 % de ménages ne les utilisent pas (Figure 6). Les causes sont la faiblesse d'intensité de l'électricité (17,5 %) et les coupures intempestives (82,5 %). Et même ceux qui ont accepté de les utiliser, celle-ci n'est pas optimale à cause des coupures qui interviennent sans avertissement et du délestage, d'où le recours au charbon de bois.

Utilisation du charbon de bois dans la ville et ses enjeux écologiques

Après la découverte des types d'énergie disponible dans la ville de Boma, de la possession ou non d'un réchaud électrique ainsi que son utilisation ou non, l'enquête s'est penché sur l'utilisation du charbon de bois et les quantités y relatives.



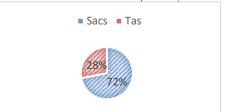


Figure 7: Utilisation ou non du charbon de bois

Figure 8 : Des quantités achetés

Les résultats pour l'utilisation ou non du charbon de bois sont tels que 391 ménages (soit 97,8 %) recourent au charbon de bois à cause du mauvais état du réchaud électrique, de la rareté du bois de chauffe, du manque de revenu adéquat pour l'acquisition d'un réchaud électrique ou à gaz, la peur des accidents provoqués par le gaz et comme substitut à l'énergie

électrique (Fig.7). Parmi ceux qui n'utilisent pas le charbon de bois (2,3 % soit 9 ménages), quatre utilisent le gaz qui est une nouveauté dans la ville et les autres recourent uniquement au bois de feu. S'agissant des quantités achetées sur le marché, 281 ménages (72 %) achètent des sacs alors que les 110 autres (28 %) achètent des tas (Fig. 8).









Figure 9, 10 et 11. Tas de charbon de bois et sacs destinés à la vente (Source : Maurice MBUANGI) La quantification du charbon de bois utilisé s'est intéressée au nombre de sacs utilisés mensuellement et le nombre de tas achetés journalièrement. En voici les résultats :

Tableau 3. Des quantités du charbon de bois achetés par les ménages de Boma

Tas 1 39 2 53 3 15 4 3 Sacs 1/2 107 1 114		Quantités	Conditionnement
3 15 4 3 Sacs ½ 107	9,97	1	Tas
	13,55	2	
	3,84	3	
	0,77	4	
1 114	27,37	1/2	Sacs
1 11	29,16	1	
2 44	11,25	2	
3 13	3,32	3	
4 3	0,77	4	
Nombre de ménages 391	100	ges	Nombre de ména

Source: Nos enquêtes, 2020

Ce tableau montre que parmi les 391 ménages utilisant le charbon de bois, 13,55 % de ménages achètent 2 tas par jour tandis que 29,16 % utilisent au moins 1 sac par mois. Ainsi, à partir de ces données, la quantité (en Kg) du charbon de bois utilisée par les ménages enquêtés est estimée. Ce qui permet d'extrapoler les résultats sur l'ensemble de la population de Boma répartie en 41.237 ménages et les moyens financiers mobilisés annuellement pour acquérir ce produit.

Pour l'estimation de la quantité (en Kg ou en tonne), voici comment la situation s'est présentée :

Tableau 4. Calcul du poids total de la consommation des ménages enquêtés

Conditionnem	Qté	Nbre	Nbre de	Poids/Kgs/Co	Poids/Kgs/Consom
ent		ménages	tas/jour	nsommation/jo	mation annuelle
				ur	
Tas	1	39	34	68	24 820
	2	53	106	212	77 380
	3	15	45	90	32 850
	4	3	12	24	8 760
Poids	143 810				
Sacs	Qté	Nbre	Nbre de	Poids/Kgs/Co	Poids/Kgs/Consom
		ménages	sacs/mois	nsommation/m	mation annuelle
				ois	
	1/2	107	53,5	2 166,75	26 001
	1	114	114	4 617,00	55 404
	2	44	88	3 564,00	42 768
	3	13	39	1 579,50	18 954
	4	3	12	486,00	5 832
Poids total/Sacs	conson	més/mois/	année	12 413,25	148 959
		Total gén	éral	-	292 769
	784,78				

Source : Nos calculs (Le poids moyen d'un tas de 500 FC est de 2 kg et celui d'un sac de charbon de bois est de 40,5 kg selon le pesage effectué sur 15 échantillons pour les deux catégories de conditionnement).

Selon ces calculs, la quantité mensuelle du charbon de bois utilisée par les ménages enquêtés équivaut à 292.769 Kg (soit 292,769 tonnes) par année. Etant donné que dans l'échantillon, 97% de ménages recourent au charbon de bois, la projection de ce pourcentage un nombre total de ménages de la ville donne 40.000 ménages (97 % de 41.237). De ce fait, les 40.000 ménages qui utilisent le charbon de bois dans la ville de Boma consommeraient annuellement 31.391.200 kg (soit 31.391,20 tonnes). Si les calculs doivent s'étendre jusqu'au niveau de la consommation individuelle du charbon de bois dans la ville, celle-ci serait estimée à 0,35 kg par jour. De cette consommation annuelle du charbon de bois, des calculs peuvent être effectués pour connaître le nombre de stères (mètres cubes) de bois nécessaires. En utilisant le facteur de conversion d'une tonne de charbon de bois pour 6,67 tonnes de bois (FAO, 2009), il est compris que la périphérie de la ville de Boma devra fournir annuellement 209.379,304 m³ de bois (soit 573,64 m³ par jour) pour les besoins de la ville en charbon de bois sans tenir compte de ceux des autres villes et grandes cités proches des lieux d'exploitations du charbon de bois (Moanda, Matadi, Lemba, Manterne et Kinzao Mvuete). Si la situation se présente ainsi, puisque la littérature scientifique (ENCYCLOPEDIA UNIVERSALIS; GIRARD, 2002) renseigne que : « toute combustion d'un kilogramme de bois consomme 1 m³ d'oxygène et qu'avec une technique de carbonisation mal maîtrisée, on libère 365 kg de carbone dans la nature pour une tonne de bois », ce qui signifie que le charbon de bois nécessaire pour la ville de Boma consomme annuellement 31.391.200 m³ d'oxygène et libère 11.457.788 kg de carbone dans la nature. Cette étude ne s'est pas limitée aux variables analysées ci-dessus. Elle a également voulu se rendre compte des types de foyer (braseros) utilisés par les ménages de Boma, de la connaissance ou non de la toxicité du charbon de bois et des connaissances de l'usage du charbon de bois sur la forêt sans oublier les mesures qui doivent être prises pour atténuer la pression sur la ressource forestière.

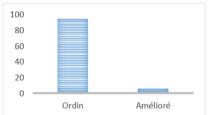


Figure 12: Type de braseros utilisés

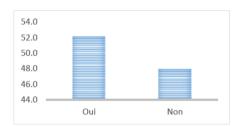


Figure 14 : Connaissance des conséquences négatives de l'utilisation du CB

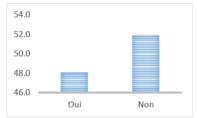


Figure 13 : Connaissance de la toxicité de la fumée du charbon de bois

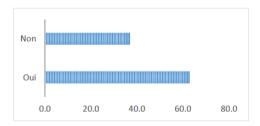


Figure 15 : Existence des mesures pour atténuer l'utilisation du CB

Ces résultats révèlent que seuls 5,6 % des ménages utilisent des foyers améliorés (Fig. 12). En plus, les consommateurs du charbon de bois ont reconnu que son utilisation a des avantages indéniables (un substitut efficace en cas de manque ou de coupure de l'électricité, rapidité dans la préparation des repas et qui dégage moins de fumée que le bois de chauffe), mais entraîne aussi des conséquences néfastes tant pour la santé que pour l'environnement. En effet, 48,1 % d'enquêtés ont reconnu que la fumée dégagée par le charbon de bois est toxique (Fig. 13) et 52,1 % ont déclaré que son utilisation a des conséquences néfastes sur la forêt. Elle entraîne la déforestation et la dégradation de la forêt, la perte de la fertilité du sol et le réchauffement climatique (Fig. 14). S'agissant des maux engendrés par l'utilisation du charbon de bois, les enquêtés ont reconnus qu'ils sont exposés aux céphalées, à la grippe, à la nausée, aux brulures et intoxications, à l'hypertension, à la pneumonie et aux maux des yeux. De la figure 15, il ressort que 63 % d'enquêtés ont reconnu qu'il y a des mesures à prendre pour baisser l'utilisation du charbon de bois. Il s'agit de la résolution des problèmes dans la fourniture de l'électricité à travers la ville (amélioration de la qualité de l'énergie électrique, augmentation des cabines), l'utilisation du gaz pour la cuisine et des foyers améliorés.

Concernant le flux financier mensuel et annuel de la consommation du charbon de bois dans la ville de Boma, les calculs se présentent ainsi :

Tableau 5. Du calcul des dépenses mensuelles et annuelles pour l'acquisition du charbon de bois dans la ville de Boma en FC3

Conditionne ment/Sacs	Qté	Nbre ménages	Nbre de tas/500 FC/jour	Dépense journalière	Dépense annuelle
	1	39	34	17 000	6 205 000
	2	53	106	53 000	19 345 000
	3	15	45	22 500	8 212 500
	4	3	12	6 000	2 190 000
Total dépense	es /jour	et année		98 500	35 952 500
Conditionne	Qté	Nbre	Nbre de	Dépense	Dépense annuelle
ment/Sacs		ménages	sacs/mois	mensuelle	-
	1/2	107	53,5	481 500	5 778 000
	1	114	114	1 026 000	12 312 000
	2	44	88	792 000	9 504 000
	3	13	39	351 000	4 212 000
	4	3	12	108 000	1 296 000
Total/dépens	es /moi	is/année		2 758 500	33 102 000
Total général					69 054 500

Source: Nos calculs

Ce tableau nous fait découvrir que dans les ménages enquêtés, les dépenses annuelles en charbon de bois s'élèvent à 69.054.500 FC (soit environ 36 344,47 \$US). Ainsi, chaque ménage de l'échantillon aura dépensé 90,86 \$US annuellement⁴. Ces chiffres, extrapolés à tous les ménages de la ville de Boma utilisant du charbon de bois (40.000), font connaître que les dépenses annuelles en consommation du charbon de bois dans la ville de Boma avoisinent 3.634.447,37 \$US. Ce qui permet de calculer la dépense journalière en charbon de bois dans la ville. Elle est estimée à 0,04 \$US par personne.

Au regard de ces chiffres, il est aperçu que les ménages de Boma, en dehors des revenus alloués au payement de la fourniture en énergie électrique, doivent également débourser des moyens financiers, pour acquérir, tous les jours, du charbon de bois. Ce qui en fait un bien prioritaire, un bien indispensable pour vivre normalement.

Discussion générale

L'analyse des résultats de l'enquête sur la consommation du charbon de bois dans la ville de Boma a essayé de répondre aux préoccupations soulevées par cette étude : découvrir les déterminants de la carbonisation dans la ville, les quantités consommées et de dire si cette consommation contribue à une gestion durable de la forêt sans oublier la proposition des mesures adéquates pour remédier aux problèmes qu'elle suscite. Les réponses des enquêtés ont établi que la distribution de l'énergie électrique est un facteur déterminant dans l'utilisation du charbon de bois par les ménages de Boma, sans oublier le non recours, par la population, aux foyers améliorés, aux autres énergies alternatives comme le gaz ou le pétrole. En effet, un habitant de Boma abordé à ce sujet a révélé que dans son quartier, le rythme de la distribution de l'électricité a été bouleversé brusquement. En effet, pendant la saison pluvieuse, l'électricité leur était disponible un jour sur deux. En saison sèche, cette électricité ne leur est accordé, le jour prévu, soit de 8h00 jusqu'à 12h00, soit de 18h00 jusqu'à 6h00 du matin. D'où la difficulté de s'en servir pour préparer les repas journaliers. Ainsi, il faudra apprêter le charbon de bois puisque même aux heures prévues pour être servi, des coupures d'électricité interviennent. Les responsables de la société nationale d'électricité abordés à ce sujet ont reconnu, pour leur part, que leur entreprise connaît de sérieux problèmes. Ces difficultés sont entre autres dues à la vétusté du matériel utilisé (câbles et cabines électriques) et au nombre réduit de cabines électriques, ce qui provoque leur surchauffe à cause des charges qu'elles doivent supporter. Ils ont aussi fait allusion à la mauvaise pratique des habitants de la ville à procéder à des raccordements frauduleux, utilisant dans bien de cas du matériel inapproprié. Au cours de la saison sèche, ont-ils ajouté, il se pose le problème de la diminution des eaux dans le fleuve, et quelques turbines du barrage d'Inga ne fonctionnent pas. A ce sujet, les rapports de la BAD (2012) ont reconnu qu'en Afrique de manière générale, les services énergétiques modernes ne sont en fait pas abordables pour les couches pauvres de la population à cause de leurs coûts et des revenus des ménages. Cette énergie, là où elle existe n'est pas fiable puisqu'il y a de pannes récurrentes conduisant à des coûts d'opportunité importants. Aussi, il faut reconnaître la mauvaise qualité de l'approvisionnement et un accès limité à l'énergie électrique, l'incapacité du secteur public à financer des investissements nouveaux et/ou l'exploitation et la maintenance.

Page 59

³ FC = Franc Congolais qui est la monnaie de la République démocratique du Congo

⁴ Le taux de change appliqué est de 1900 FC pour 1 dollar Américain

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (vi) - Numéro 1 – Mars 202'

Mbuangi Lusuadi and Ntoto M'vubu Roger/ [ISTEE, Vol. (vi), No. 1, Avril 2021, pp. 52-61

Ces problèmes ressortis par la Banque Afrique de développement sont également les mêmes pour la RDC, car selon la FEC (2007), le système de production de l'énergie électrique congolaise détient, de façon plus ou moins fiable, seulement moins de 50 % des équipements de production en état de fonctionnement. C'est le cas du barrage d'Inga qui approvisionne la ville de Boma où seuls 3 des 6 groupes de la centrale Inga I fonctionnent en raison du manque des pièces de rechange et de réparation. La centrale Inga II, elle, souffre à la fois des problèmes techniques de conception et d'un manque de maintenance et de pièces d'équipement. Ce qui signifie que les deux centrales ont besoin de réparation, ainsi que d'importants travaux de réhabilitation et de fiabilisation. Au niveau du transport de cette électrique, comme l'ont reconnu WOLF et LUSINDE (2012), le système de transmission vit des pressions considérables. L'équipement est vétuste, les niveaux d'entretiens sont insuffisants et les nouveaux investissements ont été minimes. Le système ne possède donc pas la capacité suffisante pour répondre à la demande. L'électricité n'est pas le seul déterminant dans l'utilisation du charbon de bois par les ménages de Boma, il y a lieu de soulever aussi les avantages qu'il offre. En effet, il est reconnu que la raison principale de l'évolution urbaine du bois de chauffe vers le charbon de bois est que ce dernier a une densité énergétique plus élevée, c'est-à-dire que le charbon produit plus d'énergie par unité de poids utilisé, son coût de transport plus abordable que celui du bois de chauffe et le développement d'une filière rentable vers les villes. En outre, le charbon de bois peut être facilement stocké, produit moins de fumée et a des propriétés excellentes pour la préparation de la nourriture ; il brûle de façon égale pour de longues périodes et peut être éteint et rallumé de façon rapide et facile (KAMMEN, D.M. et LEW, D.J. 2005).

Pour affirmer les résultats de l'enquête, une référence au projet Makala (JOLIEN SCHURE ET AL., 2011) est nécessaire, puisqu'il a révélé que la République démocratique du Congo dispose d'un potentiel énergétique important et varié, en particulier hydroélectrique. Cependant, la vétusté des infrastructures de production, de transport et distribution du courant électrique font que les ménages des grandes villes recourent constamment au bois-énergie.

Ainsi, face à cette situation, le charbon de bois est l'un des substituts le plus utilisé par les ménages, au regard de sa disponibilité et de son faible coût. A ce sujet, Madon (2017) a reconnu qu'en 2014, le bois énergie (bois de feu et charbon de bois) représentait 70 % de l'énergie consommée en Afrique. Aussi, il a fait remarquer que le bois énergie en général et la charbon de bois représente des enjeux considérables : énergétique, en tant que source d'énergie de première nécessité; socio-économique, par les chiffres d'affaires et les emplois engendrés; environnemental, par la pression grandissante exercée sur les ressources ligneuses et les émissions de gaz à effet de serre; de santé et d'égalité des genres, par les risques liés aux émissions de particules et les tâches de cuisson et de collecte du bois énergie; et de bonne gouvernance locale avec le transfert aux collectivités rurales de la gestion et du contrôle forestiers.

Dans la ville de Boma, les résultats des enquêtés ont montré que journalièrement, il est consommé approximativement 86 tonnes de charbon de bois, soit 0,35 kgs par individu (127,75 kg/an). Ce qui signifie que 573, 64 m3 de bois sont utilisés chaque jour pour cette fin, tout en consommant également 86 tonnes d'oxygène et en libérant 31,391 tonnes de carbones dans la nature lors de la carbonisation. Ainsi, bien que menées en des lieux et années différents, ces résultats sont proches de ceux de Onemba (2011) qui a trouvé, pour la ville de Kinshasa, une consommation journalière de 132 kg/per/an.

Face à cette consommation du charbon de bois dans la ville de Boma, la forêt de sa périphérie et celle de la réserve de biosphère de Luki sont fortement sollicité et sont loin d'être gérées durablement. C'est ce que Bizangi (1998) a souligné en ces termes : « consommer le charbon de bois dans le contexte actuel des pays sous-développés, est une façon d'identifier la déforestation ; car la technique utilisée pour sa production est de faible rendement ».

Gérer la forêt de la périphérie de Boma durablement sous-entend l'adoption de certaines pratiques comme l'utilisation des foyers améliorés. Malheureusement, à Boma, 94,4 % des ménages enquêtés utilisent des braseros traditionnels qui entraînent non seulement l'utilisation des grandes quantités du charbon de bois, mais également des risques pour la santé humaine à cause des particules fines et le monoxyde de carbone dégagés par la fumée, laquelle est également nocive pour l'environnement et la qualité de l'air. En fait, il faudra reconnaître que l'utilisation du bois de feu et du charbon de bois est associée à des problèmes écologiques tels que la déforestation, provoquant ainsi l'érosion des sols et des changements climatiques (BROWN, CABARLE ET AL., 1997; WHITE, CANNEL ET AL., 1999) et les autres problèmes associés sont entre autres, les lourdes charges sociales, en particulier les problèmes de santé (BRUCE, PEREZ –PADILLA et al., 2002, NASH & LUTTREL, 2006).

CONCLUSION

Cette étude a porté sur la consommation du charbon de bois dans la ville de Boma, à l'ouest de la République démocratique du Congo. Elle a été dictée par l'importance que revêt ce produit dans le quotidien des ménages de la ville et les menaces que sa production fait peser sur son environnement immédiat : la forêt de la périphérie de la ville et la réserve de biosphère de Luki . Ce qui a conduit à se poser des questions sur ses déterminants, les quantités consommées, la possibilité de gérer durablement la forêt à ses alentours. Elle a également pensé fournir les stratégies adéquates pour atténuer les menaces engendrées par cette consommation.

Les enquêtes menées à cet égard ont montré que presque tous les ménages de Boma (98 %) utilisent du charbon de bois pour la cuisson des repas. Les causes principales évoquées pour ce fait sont la mauvaise qualité de l'électricité et sa distribution interrompue, le manque de moyen financier nécessaire pour l'acquisition des sources d'énergie alternatives comme le gaz. Dans l'utilisation du charbon de bois, les ménages recourent à des braseros ordinaires (94,4%). Ce qui n'optimise pas la consommation du charbon de bois. Cette consommation du charbon de bois mobilise des revenus financiers conséquents (3.634.447,37 \$US par an), mais est également une très grande source de pollution de l'environnement et de déforestation de la périphérie avec des incursions au sein de la réserve de biosphère de Luki.

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (vi) - Numéro 1 – Mars 2021

Mbuangi Lusuadi and Ntoto M'vubu Roger/ JISTEE, Vol. (vi), No. 1, Avril 2021, pp. 52-61

De ce constat, il peut être recommandé au niveau de la ville de Boma, la résolution des problèmes relatifs à la distribution de l'énergie électrique par l'augmentation des cabines électriques et l'assainissement du réseau de distribution afin de mettre fin au délestage ; de vulgariser et de mettre à la disposition des ménages les foyers améliorés ; d'informer la population sur les effets néfastes de la déforestation (changement et réchauffement climatiques).

Références

- A. White, M.G R Cannel and Andrew D. 1999. Climate change impacts on ecosystems and the terrestrial carbon sink: A new assessment. In Global Environmental Change Journal, Vol. 9, pp 521 530.
- 2. Banque Africaine de Développement. 2012. Département des ressources et politiques opérationnelles, Politiques du secteur de l'énergie, www.afdb.org/fr
- BINZANGI K. 1988. Contribution à l'étude du déboisement en Afrique tropicale. Thèse de doctorat. Lubumbashi, Université de Lubumbashi à Lubumbashi. 192 p.
- Brown, P., B. Cagarle and R. Livernash. 1997. Carbon counts: estimating climate change mitigation in Foresty projects, pp 521 – 530.
- Bruce, Nigel, Perez Padilla, Rogelio and Albalak, Rachel. 2000. Indoor air pollution in developping countries: a major environmental and public health challenge. Bulletin of World Health Organization 2000; 78 (9): 1078 - 1092
- 6. Combessie, J.-C. 2003. La méthode en sociologie. Éditions La Découverte (Coll. « Repères »), Paris, pp13-24.
- Counsell, S. 2006. Gouvernance forestière en République Démocratique du Congo, le point de vue d'une ONG. FERN. 37 p.
- Fédération des entreprises du Congo (FEC). 2007. Etat des lieux de l'économie congolaise: Problèmes et pistes de solutions. Mars 2007
- 9. Girard P. 2002. Quel futur pour la production et l'utilisation du charbon de bois en Afrique ? Dans Unasylva 211, Vol. 53, pp 30 − 35.
- Groupe de la Banque Mondiale. 2016. Enjeux de la modernisation d'une province a fort potentiel énergétique face à la qualité de vie de sa population. Rapport sur la situation économique récente dans la province du Kongo Central. 73 p.
- Jolien Schure Verina, Îngram Claude et Akalakou-Mayimba. 2011. Bois énergie en RDC: Analyse de la filière des villes de Kinshasa et de Kisangani. Projet Makala/CIFOR, 88 p.
- 12. Kammen, D. M., & Lew, D. J. 2005. Review of Technologies for the Production and Use of Charcoal, 1–19.
- 13. Koy Kondjo. 2006. Délimitation de la zone centrale de la réserve de biosphère de Luki et évaluation de la dégradation de sa végétation. Mémoire. 70 p.
- Madon G. 2017. Le bois, énergie de première nécessité en Afrique, une ressource trop souvent négligée. Revue Afrique contemporaine, 2017/1 N° 261-262, pages 201 à 222.
- Marie Manzalto. 2008. La réforme du secteur minier en République démocratique du Congo: enjeux de gouvernance et perspectives de reconstruction. Dans Afrique contemporaine, 2008/3 (n°227), pp 53-80.
- 16. Mupepele M.L. 2012. L'industrie minière congolaise. Chiffres et défis. Kinshasa. L'Harmattan. 322 p.
- 17. SHUKU ONEMBA. 2011. Impact de l'utilisation de l'énergie-bois dans la ville province de Kinshasa en République démocratique du Congo (RDC). Université de Québec. Montréal, 182 p.
- 18. Paillé P. et Mucchielli A. 2008. L'analyse qualitative en Sciences humaines et sociales. Armand Collin, Paris, 309 p.
- Robert Nash et Cecilia Luttrel. 2006. La crise en contexte : le débat sur le bois de feu, Working and discussion papers, March 2006.
- 20. Wolf G. et Lusinde F. 2012. Questions géospatiales et infrastructures. Kinshasa, Médiaspaul, 96 p.
- 21. Zone de santé de Boma. 2020. Rapport annuel 2020. Inédit.

Djebbari Walid, Meftab Fatima Zohra, Hadj Allal Fatima Zohra, Merzouk Abdessamad Chronologie phytodynamique de quelques stations du matorral : région de Tlemcen Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,

Vol.(v), No.1, Avril 2021, pp.62-70

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



Chronologie phytodynamique de quelques stations du matorral : région de Tlemcen

Djebbari Walid¹, Meftah Fatima Zohra², Hadj Allal Fatima Zohra³, Merzouk Abdessamad⁴

1,2,3,4: Laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels Université de Tlemcen-Algérie

Résumé

Le présent travail a été réalisé au niveau des matorrals de la région de Tlemcen, dont nous avons pris en compte les différentes formations végétales et les caractéristiques floristiques de ce matorral dégradé, en analysant les différentes espèces de famille et ces caractéristiques morphologiques, biologique ainsi leur répartition biogéographique.

Pour la station de zarifet nous avons recensé 79 espèces appartiennent à 30 familles botaniques, concernant la station de Nedroma nous avons recensés 54 espèces appartiennent à 26 famille botanique.

Le couvert végétal dans la station de Zarifet est dominé par des berbacées vivaces puis des berbacées annuelles vivaces, les ligneux vivaces sont en dernière position, pour la station de Nedroma la prédominance elle est pour les berbacées annuelle et les berbacées vivace avec un pourcentage commun, ensuit les ligneux vivaces.

La végétation des stations d'études, est soumise à des contraintes climatiques, avec une période de sècheresse varie de 6 mois jusqu'à 7 mois, à tout cela s'ajoute l'action anthropozoogène.

L'analyse biologique de la végétation des stations d'études montre l'importance des thérophytes qui témoigne la thérophytisation, et le risque de perdre certaine écosystèmes qui ont tendance à se transformer en pelouses.

Mots clés: Biodiversité végétale, matorral, Tlemcen, thérophytes, action anthropozoogène.

Phytodynamic chronology of some stations of the matorral: Tlemcen region

Abstract

The present work was carried out at the level of the matorrals of the region of Tlemcen, of which we have taken into account the different plant formations and the floristic characteristics of this degraded scrub, by analyzing the different family species and these morphological, biological characteristics as well as their biogeographic distribution.

For the station of zarifet we listed 79 species belong to 30 botanical families, concerning the station of Nedroma we listed 54 species belong to 26 botanical family.

The plant cover in the Zarifet station is dominated by perennial herbaceous plants and then perennial annual herbaceous plants, the perennial woody plants are in last position, for the Nedroma station the predominance is for annual and perennial herbaceous plants with a common percentage, then the hardy perennials.

The vegetation of the study stations is subject to climatic constraints, with a drought period varying from 6 months to 7 months, to all this is added the anthropozoogenic action.

The biological analysis of the regetation of the study stations shows the importance of the therophytes which testifies to the therophytization, and the risk of losing certain ecosystems which tend to transform into lawns.

Key words: Plant biodiversity, matorrals, Tlemcen, therophytes, anthropozoogenic action

¹ Corresponding author: <u>lecgen2014@gmail.com</u>

INTRODUCTION:

La végétation est le résultat des facteurs floristiques, climatiques, historiques, géologiques géographique et édaphiques (LOISEL, 1978).

La région méditerranéenne est considérée parmi les régions les plus peuplées et diversifié du monde (QUEZEL et MEDAIL., 2003), ce patrimoine biologique et le résultat des facteurs géologiques, paléo climatiques et anthropiques, ces derniers ont marqué la genèse et l'évolution des divers écosystèmes propres à la zone biogéographique.

QUÈZEL en (1976), signale que les forêts méditerranéennes se rapportaient aux matorrals et se rencontrent aux étages arides, et semi-arides et recouvrent de vastes étendues, ces matorrals connait des transformations rapides régressives liées aux différents processus de dégradations lie principalement au climat et les actions anthropiques, dans le même contexte BONIN et al en (1980) mentionnent qu'il est infiniment probable que cette évolution régressive de ces écosystèmes (forêts, pré forêts et matorrals), soit engagée et peut devenir irréversible.

Cette régression ne se limite pas, non seulement, aux milieux forestiers, mais menace aussi la biodiversité des zones préforestières et non forestière. La pression induite par les activités humaines sur les différents espaces contribue à modifier, dans un premier temps, l'occupation du sol. Les formations végétales sont soumises dès lors à des multiples formes de dégradation, due essentiellement à la période de sécheresse et l'augmentation des actions anthropozoogène, ce qui favorise l'installation des plantes rudérales, culturalles et nitrophiles, mais aussi par des plantes épineuses et/ou toxique, (BOUAZZA M. et BENABADJI, 2010).

L'Algérie est principalement la région de Tlemcen fait partie de la région méditerranéenne, elle offre un très bon modelé d'étude vu sa grande diversité végétale, malgré que leur patrimoine forestier et pré forestier a connu depuis des décennies, une continuelle régression, due le plus souvent à une action conjuguée du climat et de l'homme.

MATERIEL ET MÉTHODES:

1-Situation géographique:

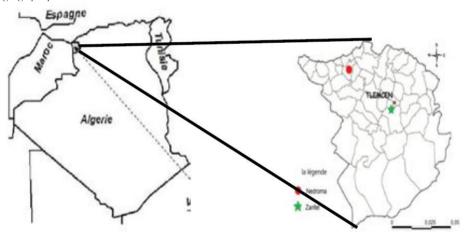


Figure 1 Situation géographique des stations d'études

Tableau 1 - données géographique des stations d'études

Stations	Wilaya	Latitude	Longitude	Altitude(m)
Zarifat	Tlemcen	34°47' N	1°25'W	900
Nedroma	Tlemcen	35°0' N	1°45' O	495

2-méthodes:

Après la situation géographique, une analyse bioclimatique selon les indices classiques a été faite afin de situer nos stations dans le bioclimat régional, Notre travail sur les formations à matorrals de la région de Tlemcen, est basé sur un

inventaire floristique, effectué en période printanière: Mars Avril et Mai, une liste floristique a été établie, tout en prenant en considération la présence de ces espèces, dans laquelle chaque espèce du relevé est accompagnée des indices floristiques. Et pour apprécier l'effet anthropique l'indice de perturbation est calculé pour les deux stations.

Méthode bioclimatique:

- Le climat méditerranéen est caractérisé par deux saisons bien distinctes, la première longue et sèche, la deuxième brève et humide cette dernière se caractérise par des variations pluviométriques irrégulières avec des chutes de pluies torrentielles,

De cela on peut dire qu'il existe plusieurs indices on peut citer:

• Indice de De Martonne : De Martonne (1926) a définit un indice d'aridité exprimé par la relation:

P/T+10

- I: Indice d'aridité,
- P: Pluviométrie annuelle (mm),
- T: Température moyenne annuelle (°C).

Plus l'indice est faible, plus le climat est aride, et plus il est grand et plus le climat est humide.

Indice de Bagnouls et Gaussen :Grâce à cet indice les auteurs ont définis le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) qui utilisent les températures et les précipitations.

Cet indice s'applique surtout au climat qui comporte une saison sèche assez accusée en considérant que celle-ci représente un facteur écologique défavorable à la végétation. Un mois est sec, si le total des précipitations en Millimètres est inférieur ou égal au double de la température en °C.

P ≥2T

Indice pluviométrique et le climagramme d'Emberger: Le quotient pluviométrique sert à définir le degré l'humidité du climat "les localités sont d'autant plus rapprochées que leurs climats sont plus voisins d'autant plus rapprochées que leurs climats sont plus voisins de la company de la Il permet aussi de localiser les stations dans leur contexte bioclimatique.

En 1932; Emberger proposa une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuel en tenant compte des précipitations et de la température, cette formule s'écrit:

 $Q_2 = 1000 P / (M+m) (M-m)/2$ ou $Q_2 = 2000 \text{ P/ } \text{M}^2 - \text{m}^2$

- M: Présente la moyenne de maximas du mois le plus chaud, m: Présente la moyenne des minimas du mois le plus froid, Ces moyennes sont exprimés en degré de Kelvin (O°C = 273° K),
- M-m: Amplitude thermique,
- P: Somme des précipitations annuelles en mm,
 - <u>M+ m:</u> Température moyenne,

Régimes saisonniers :

L'année est divisée en quatre parties de durées égales par regroupements de mois entiers, Selon Daget (1977) qui définit l'été comme étant le trimestre le moins arrosée et le plus chaud,

Hiver (H) ------Décembre, Janvier et Février,

Printemps (P) ----- Mars, Avril et Mai,

Eté (E) ----- Juin, Juillet et Août,

Automne (A) ----- Septembre, Octobre et Novembre

Méthode floristique:

L'étude des formations végétales d'un site naturel, s'appuie essentiellement sur leur composition floristique. Ainsi, l'inventaire floristique constitue une démarche très importante pour caractériser un site dans l'étude phytoécologique, et l'évaluation de la diversité floristique au sein des groupements végétaux.

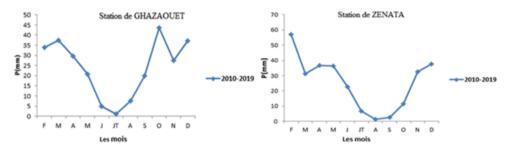
D'après GOUNOT, (1969) l'échantillonnage est la réalisation des relevés sur terraine et la première phase du travail dans une étude écologique, et comme le tapis végétal n'est jamais étudié d'une manière continue, son étude se fait grâce à un échantillonnage permettant de répartir les échantillons de façon à ce qu'ils donnent une image valable de l'ensemble de la

Notre travail sur les formations à matorrals de la région de Tlemcen, est basé sur des relevés floristique, effectué en période printanière: mars-avril (2019), période dans laquelle la majorité des espèces sont en fleurie, selon la méthode de Braun Blanquet, (1951)

Comme Braun Blanquet, (1951)) le précise, les relevés ont été établis sur des surfaces où la végétation est suffisamment homogène pour que la liste floristique soit représentative

RESULTATS ET SYNTHESE

1- Synthèse bioclimatique:



Les précipitations se localisent dans les deux stations entre le mois d'Octobre et Mars avec des maximas de 50 mm pour Ghazaouet en Octobre et 60mm pour Zenata au mois de Février.

Figure 2- précipitations mensuelle des stations de GHAZAOUET et ZENATA

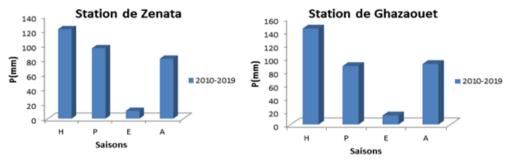


Figure 3- Régime saisonnière des stations de GHAZAOUET et ZENATA

Le régime pluviométrique saisonnière pour l'ensemble de la station Ghazaouet est du type HAPE, et de la station Zenata du type HPAE

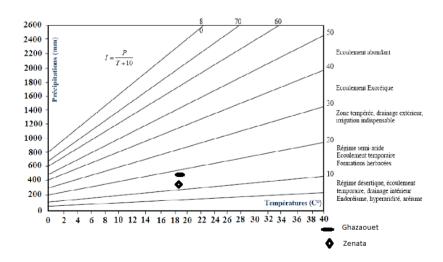


Figure 4- Indice d'aridité de DE MARTONNE des stations de GHAZAOUET et ZENATA

Les résultats des calculs d'indice de DE MARTONNE, indique que pour l'ensemble des stations de la zone d'étude se localisant entre 10 et 15 appartenant au niveau semi-aride, ce régime induit la prédominance des formations herbacées.

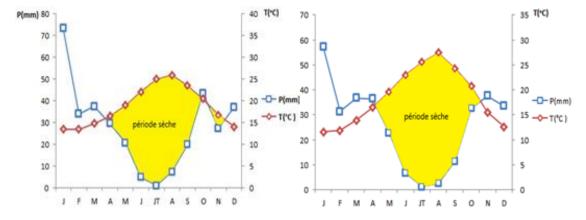


Figure 5 - Diagramme Ombrothermique des stations de GHAZAOUET et ZENATA

L'analyse des diagrammes ombrothermiques des stations météorologiques Figure5 permet de visualiser une période sèche d'environ 6 mois de la fin d'Avril jusqu'à le début d'Octobre

Pour la station de Ghazaouet montre que la période sèche s'étale du mois de Avril au début de mois d'Novembre et une période humide de mois de Décembre jusqu'à la fin d'Avril.

Concernant la station de Zenata la période sèche elle est de mois d'Avril ou mois d'Octobre et une période humide s'étale de mois de Novembre jusqu'à le mois d'Avril

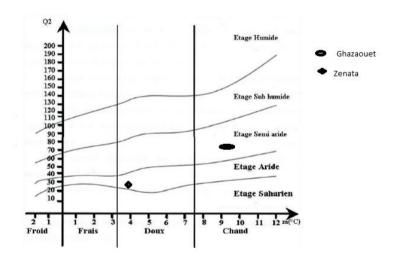


Figure 6- Climagramme pluviothermique d'EMBERGER des stations de GHAZAOUET et ZENATA

D'après les résultats obtenue (Tableau), et l'analyse de climagramme pluviothermique d'EMBERGER, (Figure), nous remarquant que la station de Ghazeouet se situant dans le semi-aride a hiver chaud, pour la station de Zenata elle se situe dans l'aride a hiver tempère, ce qui confirme que le semi-aride domine les monts de Tlemcen.

2- Synthèse floristique:

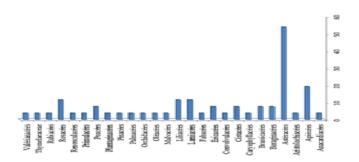


Figure 7-Composition par famille des stations de Nedroma .

La répartition des familles dans la station de Nedroma se caractérise par une certaine hétérogénéité, elle est dominé par la famille des Astéracées avec un pourcentage de 53,8%, et la famille des Apiécées avec 19,2%, les familles des Rosacées, Liliacées, Lamiacées ont un pourcentage de 11,5%, les reste des familles ont un pourcentage faible ne dépasse pas le 7,6% Figure7

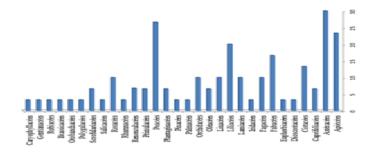


Figure 8-Composition par famille des stations de Zarifet.

D'après la Figure 8 la station de Zarifet est dominé par les familles des Astéracées avec un pourcentage de 30% et Poacées avec 26,6%, ensuite les Apiécées 23,3, Liliacées 20%, Fabacées 16,6, les autres familles ont un pourcentage faible a très faible ne dépasse pas le 13,3%.

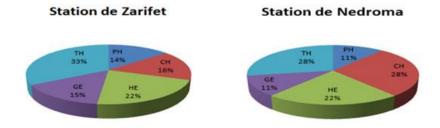


Figure 9- Les types biologiques des stations de Zarifet et Nedroma

La figure 9, montre la présence de nombreux type biologique ce qui explique une richesse floristique stationnaire.

- ✓ La station de Zarifet présente le type : TH>HE>CH>GE>PH.
- ✓ La station de Nedroma présente le type : TH>CH>HE>PH>GE.

D'après la figure on remarque une prédominance de thérophyte dans les deux stations avec un taux de 33% dans la station de Zarifet et 28% pour la station de Nedroma, ce pourcentage élevé est expliqué par le surpâturage fréquent et des cultures, plusieurs auteurs s'accordent pour présenter le thérophytie comme étant une forme de résistance à la sécheresse ainsi qu'aux fortes températures des milieux arides (DAGET, 1980 et BARBERO et al ,1990).

Parmi les thérophytes les plus abondants au niveau des stations d'études nous citons : Sinapisarvensis, Bromusrubens, Lobulariamaritima, Hordeummurinum.

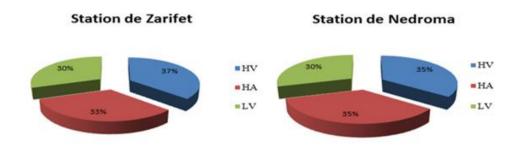


Figure 10- pourcentage des types morphologique des deux stations de Zarifet et Nedroma

L'état de la physionomie d'une formation végétale peut se définir par la dominance et l'absence des espèces différentes types morphologiques. Du point de vue morphologique, les formations végétales de la zone d'étude sont marquées par l'hétérogénéité entre les ligneux et les herbacées et entre les vivaces et les annuelles. Figure 10

- Station de Zarifet: domine par herbacées vivace (37%), herbacées annuelle (33%) et les ligneux vivaces (30%)
- Station de Nedroma: domine par les herbacées annuelle et vivace (35%), et les ligneux vivaces (30%).

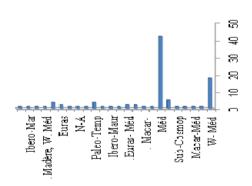


Figure 11 - types biogéographique des deux stations Nedroma .

D'après la figure 11, nous constatons que l'élément Méditerranéen domine aussi dans la station de Nedroma avec un pourcentage de 44,4%, suivie par l'élément Ouest-Méditerranéen avec un pourcentage de 11,1% et 5.5% pour Eur-Med. Les autres éléments phytogéographique représentent un faible pourcentage, mais contribue à la diversité et à la richesse du potentiel phytogéographique de la végétation de la zones d'études

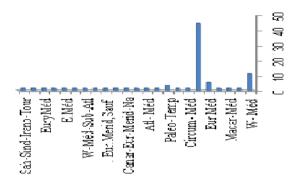


Figure 12 - types biogéographique des deux stations de zarifet

Les pourcentages des types biogéographiques de la station de Zarifet présentée dans la Figure 12 montrent la prédominance des espèces de type biogéographique méditerranéen avec un pourcentage de 41,7%. Les éléments Ouest-Méditerranéen suivent les Méditerranéen avec 17,7%, et 3,7% pour les éléments Paléo-Tempéré et Méditerranéenne Atlantique. Le reste représente une faible participation mais contribuent à la diversité et à la richesse du potentiel phytogéographique de la station de Zarifet.

3- L'indice de perturbation nous permet de quantifier la thérophytisation d'un milieu, proposée par (LOISEL et GAMLILA, 1993).

Tableau 2 - Indice de perturbation

Indice de perturbation par station	Zarifet	Nedroma	
IP	26%	15%	

D'après les résultats présentés dans le tableau 2 on remarque que l'indice de perturbation pour la station de zarifet est de 26% ce qui explique un début de perturbation de cette station, pour la station de Nedroma le pourcentage et de 15% ce qui explique une faible action anthropique, pour la raison que la station et un peu éloigné.

L'action anthropique (pollution, défrichement et urbanisation) et ses troupeaux (Surpâturage) est nettement visible dans notre zone d'étude, cette action selon (Meftah.FZ et al, 2021) peut conduit à deux situations de plus de en plus sévères allant de la matorralisation jusqu'à la désertification passant par la steppisation, avec la dominance des espèces sub-nitrophiles liées aux surpâturages et les espèces annuelles et bisannuelles.

CONCLUSION

Malgré l'influence de divers facteurs écologiques, climatiques et anthropiques la région de Tlemcen a été choisie comme zone d'étude, en raison qu'elle présente une grande richesse floristique et un bon modèle de la biodiversité et de l'hétérogénéité floristique. L'objectif principal de notre travail consiste à étudier le cortège floristique de deux stations font partie des matorrals de la région de Tlemcen, l'un fait partie de les monts de Tlemcen (Forêt de Zarifet), et la deuxième station dans la commune de Nedroma. Au terme de ce travail, nous venons de résumer les principales conclusions de notre recherche auxquelles nous avons abouti : L'étude du milieu physique nous a permis de connaître les caractères pédologiques, géologiques, géomorphologiques et topographie de la région d'étude. L'étude climatique durant la période (2010-2019) a estimé les résultats suivants :

La température annuelle moyenne à Zenata est de 18,5 °C, pour Ghazaouet elle est de 18,7 °C, les mois le plus chauds et le mois d'août pour les deux stations de référence avec une température moyenne de 30,5 °C, pour Ghazaouet et de 36,7 °C. Le mois le plus froids et le mois de février pour les deux stations avec une température moyenne de 7,1 °C pour Ghazaouet et de 3.1 °C pour Zenata.

La station de Zenata reçoit en moyenne 310,4 mm de pluie par année, concernant la station de Ghazaouet reçoit en moyenne 336,9 mm, les mois où les précipitations et maximale pour la station de Zenata sont les mois de Janvier et Novembre avec respectivement des valeurs 57,2 mm et 37,6 mm, et pour la station de Ghazaouet sont les mois de Janvier et Octobre avec

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (vi) - Numéro 1 – Avril 202

Djebbari et al.,./ JISTEE, Vol. (vi), No. 1, Avril 2021, pp. 62-70

respectivement des valeurs 73,3 mm et 43,5 mm. Les minimales sont notés en période estivale, aux mois de Juillet et de Août pour les deux stations avec un maximum ne dépasse pas le 7,5 mm.

Le diagramme ombrothermique établi par BAGNOULS et GAUSSEN (1953), a nous permet de dégager une période sèche d'environ 6 à 7 mois pour les deux stations ce qui favorise l'installation des espèces xérophiles qui peut s'adapter à la sècheresse.

Le quotient pluviothermique du climagramme d'EMBERGER positionne les deux stations de référence comme suit :

- Station de Zenata : Aride à Hiver tempère.
- Station de Ghazaouet : Semi-aride à Hiver chaud.

Concernant la méthode d'échantillonnage, nous avons fait des relevés floristiques qui nous permettent de récolter le maximum d'espèces et nous allons montrer une nette disparité entre les stations d'études. La richesse de notre stations d'étude est marquée par la dominance des Astéracées (30%) suivit par des Poacées (26,6%), et des Apiécées (23,3%), Liliacées (20%) dans la station de Zarifet. Pour la station de Nedroma la dominance des Astéracées (53,8%) suivit par les Apiécées (19,2%), Lamiacées et Liliacées avec (11,5%). Concernant les types biologiques, la prédominance elle est au thérophytes qui présente un taux élevé de (32.9%) pour la station de Zarifet, pour la station de Nedroma la dominance elle est pour les thérophytes et les chamaephytes avec un pourcentage de (27,7%) ce qui témoigne de la sécheresse est d'une forte action anthropique (Surpâturage et culture).

Cette thérophytisation est marquée par une invasion générale d'espèces annuelles telles que *Convolvulus althaeoides, Anagallis arvensis*. Pour la diversité biogéographique, la région présente un taux très élevé des espèces méditerranéennes, suivie toujours par les espèces d'Ouest-méditerranéen pour les deux stations d'études.

Références

- BAGNOULS F., et GAUSSEN H., 1953. Saison sèche et indice xérothermique. Doc. Carte prot. Vég. Art,8 Toulouse: P 47. èse d'Etat, Univ. Aix-Marseille III. Pp: 190-185+Annexes.
- BOUAZZA M. et BENABADJI N., 2010. Changements climatiques et menaces sur la végétation en Algérie occidentale. Changements climatiques et biodiversité. Vuibert –APAS. Paris. Pp. 101-110.
- 3. Braun Blanquet J., 1951. Les groupements végétaux de la France méditerranéenne C.N.R.S.Paris. 297 p.
- 4. DAGET PH., 1977. Le bioclimat méditerranéen, caractères généraux, modes de classification. Végétation, 34.Pp:1-20.
- EMBERGER L., 1954. Une classification biogéographique des climats. Rec. Trav. Lab. Bot. Géol. Zool. Univ. Montpellier. Série Bot. n°7. Pp: 3-43
- 6. GOUNOT M., 1969. Méthode d'étude quantitative de la végétation, Ed. Mass. et Cie., Paris. 314 p.
- LOISELR., 1978. Phytosociologie et phytogéographie : signification phytogéographique du Sud-est méditerranée continental Français. Nis. Vol II. Lille. Pp : 302-314.
- 8. LOISEL R et GAMILA H., 1993. Traduction des effets du broussaillement sur les écosystèmes forestiers et pré forestiers par un indice de perturbation. Ann. Soc. Sci. Nat. Archéol. De Toulon du var. Pp : 123-132.
- 9. MERZOUK A., 2010. Contribution à l'étude phytoécologique et biomorphologique des peuplements végétaux halophiles de la région de Tlemcen occidentale de l'Oranie(Algérie). Thèse de Doct. Eco.Vég. Dép. Biol. Fcu. Scie. Univ. Abou Bakr Belkaid. Tlemcen. Pp: 14-66.
- MEFTAH .FZ. BENABADJI.N, MERZOUK.A 2019. Physico-Chemical Complex of Matorral Soils of the North Western Region of Algeria, Open Journal of Ecology, 2019, 9, 134-144 ISSN Online: 2162-1993, ISSN Print: 2162-1985.
- 11. MEFTAH .FZ. BENABADJI.N, MERZOUK.A 2021. The study of some matorralized soils in the west Algerian region , *Biodiversity Journal*, ISSN: 2039-0394 E-ISSN: 2039-0408 (vol. 12, issue 1, 2021).
- 12. QUEZEL P., 1976. Les forêts du pourtour méditerranéen. Note techn. MAB. 2. Pp: 9 34.
- 13. QUEZEL P., MEDAIL F., 2003. Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier. Collection Environnement. Paris. 573 p.
- 14. QUEZEL P. ET SANTA S., 1962- 1963. Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales. Paris C.N.R.S. 2 volumes. 1170p.
- RAUNKIAER C., 1905. Types biologiques pour la géographie botanique. KGL. Dauske Videnskabenes Selskabs, Fasshandl, 5. Pp. 347-437.
- 16. https://www.memoireonline.com/12/12/6595/m_L-acquisition-de-la-salinite-des-eaux-souterraines-en-zone-semi-aride-Cas-de-la-nappe-du-bassin-d28.html.

Effets des biofertilisants SAIN-orga1, SAIN-orga2 et du jus de vermicompost sur le tallage du riz ir841en système de riziculture intensive dans les conditions agroécologiques de Kakanitchoé, commune d'Adjohoun au Bénin

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,

Vol.(v), No.1, Avril 2021, pp.71-78

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

www.jiste.org



Effets des biofertilisants SAIN-orga1, SAIN-orga2 et du jus de vermicompost sur le tallage du riz IR 841 en système de riziculture intensive dans les conditions agroécologiques de Kakanitchoé, commune d'Adjohoun au Bénin

Gbenou Pascal^{1,2}

¹Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières, Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Université Nationale d'Agriculture, Bénin. BP: 43 Kétou (Bénin)

²Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA) /UAC

Résumé

La fertilisation organique demeure la meilleure alternative en termes de préservation de l'environnement et de l'amélioration de la qualité nutritive des aliments de consommation. Mais l'approvisionnement en ce type d'engrais par les producteurs pour booster la production rizicole reste difficile. Cette étude vise à contribuer à l'amélioration de la production du riz de bas-fonds.

L'essai a été conduit sur le site de la ferme-école "SAIN" dans la commune d'Adjobonn au sud Bénin. Ainsi, le dispositif expérimental était le bloc aléatoire complet composé de quatre traitements répétés trois fois à savoir : témoin sans apport d'engrais (T0), SAIN-ORGA1 (T1), thé de vermicompost (T2), et SAIN-ORGA2 (T3) constitué du mélange du thé de vermicompost + SAIN-ORGA1. Les données ont été collectées chaque dix (10) jour et ont été prises sur un échantillon de dix (10) plants par bloc pour mesurer les paramètres végétatifs considérés. Les résultats de l'essai ont montré que les traitements T1, T2 et T3 ont un effet positif sur les paramètres agro-morphologiques du riz IR841. Mais le traitement T1 est celui meilleur pour une bonne croissance en nombre de talles, en nombre de feuilles et en hauteur des plantes du riz. L'adoption de ce biofertilisants devrait être favorisée pour une plus grande utilisation par les riziculteurs. Par ailleurs, il est important que d'autres études prennent en compte la dose d'apport du fertilisant pour une maîtrise plus facile de l'innovation.

Mots clés : «SAIN-ORGA1 », «SAIN-ORGA2 », thé de vermicompost, système de riziculture intensive, ferme-école "SAIN" .

Effects of SAIN-orga1, SAIN-orga2 biofertilizers and vermicompost juice on tillering of IR 841 rice in an intensive rice growing system under agroecological conditions of Kakanitchoé, Adjohoun commune in Benin

Abstract

Organic fertilization remains one of the best alternatives to preserve the environment and to improve the nutritional quality of consumer foods. But the supply of these types of fertilizers by producers to boost rice production remains difficult. The objective of this work is to contribute to the improvement of lowland rice production. The trial was conducted on the site of the farm-school SAIN in Adjohoun (Benin Republic). The experimental design applied was the complete single-factor random block plan with four treatments repeated three times namely: control without fertilizer application (T0), SAIN-ORGA1 (T1), vermicompost juice (T2) and SAIN-ORGA2 (T3) the mixture of vermicompost juice and SAIN-ORGA1. The data collected every 10 days were taken from a sample of ten (10) plants per plot unit to measure the vegetative parameters considered. The results of the trial showed that the treatments T1, T2 and T3 had a positive effect on the agro-morphological parameters of rice IR841. However, the treatment (T1) gave the best effects for a good growth in number of tillers, number of leaves and height of the rice plants. The adoption of this biofertilizer should be promoted for greater use by rice farmers. In addition, it is important that other studies take into account the dose of fertilizer application for an easier control of this innovation.

Key words: « SAIN-ORGA1 », « SAIN-ORGA2 », vermicompost juice, SRI, Farm-School SAIN

¹ Corresponding author: <u>gbenoup@gmail.com</u>

INTRODUCTION

Au Bénin, comme dans les autres pays en développement la question de la sécurité alimentaire constitue de plus en plus une préoccupation majeure. Selon le MAEP (2018), 9,6% de la population soit plus d'un million de personnes sont en insécurité alimentaire. Pour pallier ce problème, plusieurs axes stratégiques ont été définis par la politique agricole notamment sur la diversification de la production et la promotion des cultures entrant dans l'alimentation de base des populations (Yabi et al., 2013). C'est ainsi que la production du riz est priorisée. Deuxième céréale cultivée de par la superficie emblavée et troisième de par la production, le riz est l'aliment de base de la moitié de la population mondiale (Dupaigre, 2005). Au plan national, le riz occupe la troisième place en termes de production de céréales après le mais et le sorgho (Abel, 2009) et représente la deuxième céréale en termes de consommation (CCR-B, 2012). En raison de la croissance démographique importante, de l'urbanisation rapide, et de l'évolution 2des habitudes alimentaires, le riz autrefois considéré comme produit de luxe occupe une place de choix très importante dans le régime alimentaire des ménages (Seck et al., 2013). Le riz devient ainsi un produit stratégique et prioritaire pour la sécurité alimentaire. En dépit d'énormes potentialités en termes de ressources naturelles, la production nationale du riz ne couvre actuellement que 60% des besoins du pays. Ce déficit en offre du riz local est compensé par des importations massives créant du coup une sortie massive de devises (SNDR, 2011). Cette forte dépendance aux importations menace donc la souveraineté et la sécurité alimentaire (AGRIDAPE, 2013). Cependant, plusieurs contraintes limitent le développement de la production du riz. Il s'agit en particulier des variabilités climatiques. En effet, les climats béninois sont désormais caractérisés par une péjoration pluviométrique, une réduction de la durée de la saison agricole, une persistance des anomalies négatives, une hausse des températures minimales, ce qui modifient les régimes pluviométriques et les systèmes de production agricole (PANA, 2008). Ainsi, dans la mesure où les fortes températures réduisent l'humidité de l'air, laquelle intervient pendant la phase de maturation du riz, ces effets pluviométriques engendrent des impacts sur la culture (Arouna et al., 2013) à savoir : la réduction de la période de croissance, la stérilité du riz et la baisse du rendement. Les contraintes directes de ces effets sont la baisse du revenu agricole et l'insécurité alimentaire et nutritionnelle des ménages. Dans ce contexte d'accroître la productivité et d'améliorer la qualité des cultures, il requiert de recourir systématiquement à de nouvelles formes d'intensification des systèmes de production du riz les plus résilientes, respectueuses des lois écologiques et qui maintiennent l'équilibre des écosystèmes et préservent la santé publique (Houngbo, 2016). Le Système de Riziculture Intensive (SRI), méthode agroécologique de production introduite dans les systèmes de production rizicole béninoise répond bien à cette alternative. En dépit des efforts investis par les chercheurs pour faciliter l'adoption massive des principes de cette innovation par les agriculteurs ; le principe lié à la gestion de la fertilité, plus précisément l'accès au compost en quantité et en qualité reste un facteur de blocage pour l'adoption du SRI strict (Gbénou, 2013). Des études réalisées démontrent que la distance entre le champ et la résidence du producteur est l'un des facteurs qui influence l'adoption de la fumure organique (Adébiyi, 2019) en raison des coûts de transports qu'elle engendre. C'est en vue d'apporter des solutions aux producteurs en termes d'accès en intrants organiques de qualité et de contribuer à l'amélioration de la production du riz dans un système strict de riziculture intensive que la présente étude intitulée « Effet du biofertilisant SAIN-ORGA1 et du jus de vermicompost sur le tallage du riz IR841 en Système de Riziculture Intensive dans les conditions agroécologiques de Kakanitchoé, commune d'Adjohoun au Bénin » a été initiée.

MATERIEL ET METHODES

Présentation du site d'étude: La présente étude a été conduite dans la commune d'Adjohoun et l'essai a été mise en place sur le site de la ferme-école SAIN à Kakanitchoé située dans l'arrondissement de Kodé, commune d'Adjohoun qui fait partie des huit communes que compte le département de l'Ouémé. La ferme école SAIN est située dans le Département de l'Ouémé, dans la vallée et à 32 km environ au Nord de Porto-Novo, Capitale du Bénin. La commune d'Adjohoun à une superficie totale est d'environ 308 km². Elle est limitée au Sud par la Commune de Dangbo, au Nord par celle de Bonou, à l'Est par la Commune de Sakété et à l'Ouest par les Communes d'Abomey-Calavi et de Zè. Sa population est d'environ 60 955 habitants (RGPH3, INSAE, 2002).

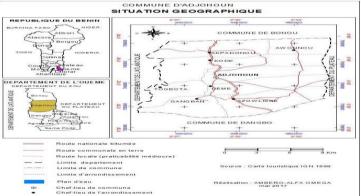


Figure 1 : Situation géographique de la commune d'Adjohoun Source : Carte touristique IGN 1998

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (vi) - Numéro 1 – Avril 2021

Gbenou ./ JISTEE, Vol. (vi), No. 1, Avril 2021, pp. 71-78

Matériel

Matériel végétal : Le matériel végétal utilisé est la variété IR841 du riz. D'un cycle de 115-120 jours, le IR841 est une variété de bas-fond. Elle a été choisie pour ses qualités qui sont sa résistance à la verse, la sécheresse et à la pyriculariose. De plus, elle est la plus produite par la majorité des riziculteurs de la commune d'Adjohoun et est la plus préférée des consommateurs en raison de son odeur aromatique, de son goût à la cuisson.

Fertilisant: Trois fertilisants ont été utilisés au cours cette étude, il s'agit du SAIN-ORGA1, du thé de vermicompost et du SAIN-ORGA2 constitué du mélange du thé de vermicompost + SAIN-ORGA1. Le SAIN-ORGA1 est obtenu par la dilution de 0,51 d'eau par 33ml du jus de vermicompost. Ensuite, le thé de vermicompost est obtenu par la dilution d'une quantité de 51 de SAIN-ORGA1 dans 10L d'eau. Enfin le SAIN-ORGA2 constitué du mélange de 16,5ml de thé de vermicompost et de 2,51 de SAIN-ORGA1 dilué dans 51 d'eau.

Réalisation « SAIN-ORGA1 »

> Matériels utilisés

- 75kg de bouse de vache fraîche
- 5kg de riz moulu
- 3kg de sucre
- 3kg d'herbe fraîche broyée
- 150l d'eau
- Tonneau en plastique d'une capacité de 2001
- Des arrosoirs pour mesurer la quantité d'eau
- Un peson pour mesurer les divers constituants
- Un bâton de deux mètres pour remuer
- Un mortier pour broyer les herbes fraiches
- Une tôle pour couvrir le tank contenant le fertilisant
- Préparation du « SAIN-ORGA1 » : Après avoir mesuré les différents constituants du fertilisant, verser en premier lieu la bouse de vache fraîche ensuite le riz moulu, le sucre, l'herbe fraîche et enfin l'eau. A l'aide du bâton, remuer le mélange pour permettre une homogénéisation. Cet exercice doit être fait tous les jours durant cinq minutes pendant deux semaines. Au bout de cette durée, le processus de fermentation aurait atteint son apogée. Le fertilisant « SAIN-ORGA1 » est prêt à être utilisé. Le mélange a une couleur brune.

Réalisation du thé de vermicompost

La préparation s'est faite suivant ces étapes :

Etape1: Mise à disposition du matériel

- Bouse de vache
- Paille de riz
- Herbes sèches
- Les lombrics
- Eau
- Un bidon de 5l pour prélever l'eau
- Un dispositif de pesé
- Un plastique à couvercle d'une capacité de 100L
- Un morceau de tissu de moustiquaire pour couvrir le composteur.

Etape 2 : Préparation du thé de vermicompost

- Mettre une couche de 20cm respectivement des herbes sèches et de la paille de riz dans le plastique et entassez légèrement,
- Ajouter ensuite 40kg de bouse de vache,
- Incorporer 02kg de vers de compost,
- Ajouter légèrement 6l d'eau,
- Couvrir le composteur avec un tissu pour empêcher les insectes de dévorer les vers.

Méthodes

Dispositif expérimental : L'essai a été mené selon un dispositif en bloc aléatoire complet (BAC) sur la plaine inondable. Le dispositif a été choisi en raison d'un seul facteur étudié et pour pallier à l'hétérogénéité du sol. Les engrais organiques ont constitué le facteur principal à quatre niveaux : le témoin sans apport d'engrais (T0), SAIN-ORGA1 (T1), thé de vermicompost (T2), et SAIN-ORGA2 (T3) constitué du mélange du thé de vermicompost + SAIN-ORGA1. Ainsi, nous avons un total de quatre (04) traitements constituant un bloc avec trois (03) répétitions par traitement soit 12 unités expérimentales. Les essais ont été conduits suivant les normes du Système de Riziculture Intensif.

Itinéraire technique de production : Préparation du sol: elle a consisté au nettoyage du terrain par fauchage, au labour à plat d'une profondeur de 20cm, à la mise en boue, au planage manuel, à la confection planches.





Photo1: Labour du site d'essai

Photo 2: Mise en boue du site

Source: photo expérimentation, ferme école SAIN 2020

Préparation des semences: elle consiste à tremper les graines de riz pendant 24h dans l'eau. Ensuite les mettre dans un sac de jute à l'ombre pendant 72h. Cette opération permet l'accélération de la germination.

Pépinière : le semis des graines pré- germées a été fait sur des planches de 1m×1,5m en les éparpillant, les recouvrant de sable et en les paillant.





Photo 3: Mise en place pépinière du riz

Photo 4: Repiquage du riz

Source: photo expérimentation, ferme école SAIN 2020

Repiquage: Des jeunes plants de 08 à 12 jours ont été repiqués sur les planches confectionnées à l'aide d'un cordeau gradué.

Fertilisation : Elle a été appliquée en fumure de fond et de couverture par planche. L'épandage a été fait le même jour sur toutes les planches. Ces différents fertilisants ont été apportés respectivement 03 jours avant le semis et chaque deux semaine.







Photo 5, 6, 7 : Fertilisation ; Préparation du thé de vermicompost ; « SAIN-ORGA1 » Source : photo expérimentation, ferme école SAIN 2020

Désherbage : Il a été réalisé chaque 10 jour de façon manuelle dans chaque unité expérimentale avant l'apport de fertilisants.

Collecte des données : les paramètres agronomiques mesurés sur la culture du riz sont : La hauteur des plants est mesurée du collet jusqu'à l'extrémité de la feuille la plus longue à l'aide d'un mètre ruban ; Le nombre de feuilles est obtenu par comptage manuel ; Le nombre de talles est obtenu par comptage manuel. En effet, ces collectes ont été faites tous les 14 jours. Les données ont été collectées sur 10 sujets de façon aléatoire en éliminant les effets de bordures. Au cours de l'essai, une observation attentive a été faite pour s'assurer de la collecte des données de qualité.

Analyse statistique des données: Les données récoltées ont préalablement été saisies à l'aide du tableur Microsoft Office EXCEL 2016 puis ont fait l'objet d'une analyse de variance avec le logiciel R. La séparation des moyennes a été faite par le test de Student-Newman Keuls au seuil de 5%. Une discussion critique des résultats a permis de tirer les conclusions.

RÉSULTATS

Ces différents travaux ont permis d'avoir les résultats suivants.

Hauteur des plants

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écarts types des moyennes. Les valeurs affectées d'une même lettre sur la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %.

Tableau 1: Effet des traitements sur la hauteur des plants en fonction des périodes d'observation

Hauteur des plantes

Périodes Traitements	3SAR	5SAR	7SAR
Т0	25.39±1.13ab	37.50±1.78b	42.86±1.08b
T1	26.80±2.24ab	46.22±1.19a	55.30±1.62a
T2	32.71±0.71a	42.38±0.94ab	47.97±3.20ab
Т3	32.28±2.09a	44.28±2.56ab	49.41±0.53ab

Le tableau 1 présente l'effet des traitements sur la hauteur des plants en fonction des périodes d'observation. Il ressort de ce tableau que les meilleurs résultats sont observés au niveau du traitement T1 (« SAIN-ORGA1 ») à la 5ème et 7ème semaine après repiquage. Par contre, à la 3ème semaine après repiquage, il n'y a pas une différence significative entre T0, T1 et T2, T3. La parcelle témoin (T0, sans fertilisant) se comporte moins bien pour ce qui concerne la hauteur des plants que les autres traitements appliqués.

Nombre de feuilles

Tableau 2: Effet des traitements sur le nombre de feuilles en fonction des périodes d'observation

Nombre de feuilles

Périodes	3SAR	5SAR	7SAR
Traitements			
T0	9.70±1.02b	27.10±1.91b	47.63±6.30b
T1	21.10±1.62a	50.53±3.65a	85.03±3.37a
T2	18.86±1.88a	$38.10 \pm 2.38ab$	67.76±6.37ab
T3	17.50±3.06a	38.06±7.01ab	61.53±4.92b

Le tableau 2 présente l'effet des traitements sur le nombre de feuilles en fonction des périodes d'observation. Ce tableau, on note que l'apport du fertilisant SAIN-ORGA1 (T1) a influencé significativement le nombre de feuilles des plants de riz à la ^{5ème} et ^{7ème} semaine après repiquage. Par ailleurs, il n'y a pas de différence significative entre T1, T2 et T3 à la ^{3ème} semaine après repiquage. Le traitement T0 présente toujours les résultats les plus faibles à toutes les dates de mesure par rapport aux trois fertilisants apportés.

Nombre de talles

Tableau 3: Effet des traitements sur le nombre de talles en fonction des périodes d'observation

Nombre de talles

Périodes	3SAR	5SAR	7SAR		
Traitements					
T0	3.83±0.53b	22.03±6.08a	34.03±4.84c		
T1	8.40±0.41a	32.43±3.72a	65.93±1.93a		
T2	7.16±0.52a	$26.50\pm1.09a$	52.90±4.19b		
T3	7.60±0.70a	25.90±4.33a	34.03±4.84bc		

De ce tableau, il ressort que l'apport du fertilisant SAIN-ORGA1 (T1) a montré un effet significatif sur le nombre de feuilles des plants de riz à la 7^{ème} semaine après repiquage. Par ailleurs, il n'y a pas de différence significative entre T0, T1, T2 et T3 à la 5^{ème} semaine après repiquage mais subsiste entre T0 et T1, T2, T3 à la 3^{ème} semaine après repiquage. Le traitement T0 présente toujours les résultats les plus faibles à toutes les dates de mesure par rapport aux trois fertilisants apportés.

DISCUSSION

Des résultats de ces analyses, il est démontré qu'à toutes les dates de mesure, la parcelle témoin (T0, sans fertilisant) affiche des plants avec moins de talles, de feuilles et de hauteur que toutes les autres parcelles avec les trois différents fertilisants. Cela s'explique par le fait que les trois différents fertilisant utilisés comprennent donc des éléments bénéfiques pour la croissance des plants de riz dans les conditions de culture du riz de bas-fond. Aussi, il faut ajouter que le traitement T1 (SAIN-ORGA1) affiche les meilleures performances comparativement à tous les autres fertilisants. Au final, les meilleures performances sont obtenues avec le traitement T1 (SAIN-ORGA1) sur les paramètres de croissance du riz (nombre de talles, hauteur, nombre de feuilles), suivi du thé de vermicompost et du mélange des deux respectivement. Ce résultat observé entre traitement s'expliquerai par le fait qu'ils ont été apportés à des doses différentes.

Les résultats obtenus au terme de l'essai sur la culture du riz IR841 sur le site de la ferme-école SAIN montrent que les fertilisants SAIN-ORGA1, thé de vermicompost et le mélange thé de vermicompost+ SAIN-ORGA1 (SAIN-ORGA2) ont un effet positif sur les paramètres agro-morphologiques du riz IR841. L'apport du vermicompost a permis à la plante d'avoir plus de nutriments disponibles à sa croissance. En effet, lors du vermicompostage, le transit des déchets à travers le tube digestif des vers de terre a permis une meilleure minéralisation de ceux-ci et par conséquent une augmentation de la teneur des nutriments dans les vermicomposts (Ndegwa & Thompson, 2001). Aussi,

le mucus sécrété par les vers de terre au cours du vermicompostage augmenterait la teneur de l'azote. Lequel azote pourrait influencer favorablement les paramètres agronomiques cités ci-dessus. De toutes les analyses précédentes, le traitement SAIN-ORGA1 (T1) a induit les meilleures performances agronomiques (bonne croissance, nombre de talles, nombre de feuilles et hauteur des plantes du riz) par rapport aux autres traitements. Ces résultats pourraient s'expliquer par la dilution du fertilisant SAIN-ORGA1 pour l'obtention des autres fertilisants (vermicompost et SAIN-ORGA2) réduisant ainsi la concentration de ces derniers. Ces résultats corroborent aussi ceux de Debouto et Zavinon (2019) qui ont obtenu des effets similaires sur les paramètres de croissance de l'Amaranthus cruentus et révèlent l'influence positive du biofertilisant sur la productivité de l'amaranthe. Les résultats obtenus ont montré que les plants fertilisés sont nettement plus hauts, ont donné plus de feuilles et le rendement de la production d'amarante est plus élevé. Qu'en serait-il du rendement en paddy? Cependant, selon les travaux de Daroui (2018), les systèmes de travail du sol ont des effets différents sur les paramètres du sol avec des conséquences potentiellement positives ou négatives sur la qualité du sol. Il est ainsi de souligner que ces résultats sont probablement influencés par l'arrière effet qu'induisent les opérations culturales antérieures (la fertilisation organique, la monoculture du riz) sur le site d'expérimentation.

CONCLUSION

L'étude que nous avons menée avait pour objectif de contribuer à l'amélioration de la production du riz par l'utilisation des biofertilisants. Elle a permis d'amorcer le processus de rendre disponible et accessible l'engrais organique en quantité et qualité pour faciliter l'adoption du SRI. Cette étude a permis de proposer trois biofertilisants différents du compost ordinaire et facilement transportable dans les champs par les producteurs et de tester leur efficacité sur les paramètres végétatifs du riz. Des résultats des analyses faites ont révélé que les trois fertilisants (SAIN-ORGA1(T1), le thé de vermicompost (T2), le mélange thé de vermicompost +SAIN-ORGA1 (T3) ont induit un effet positif sur les paramètres agro morphologiques à savoir la hauteur des plants, le nombre de feuilles, le nombre de talles. Cela vérifie nos hypothèses qui stipulaient une amélioration des paramètres végétatifs du riz face à l'application des différents fertilisants liquides. Cependant, le fertilisant ayant donné le meilleur résultat est SAIN-ORGA1. En outre, dans le cas d'autres études, il faudrait que l'analyse physico-chimique de sol soit faite pour pouvoir connaître les doses adaptables à la culture et la fréquence d'apport

Références

- 1. Abel, G. 2009. Etude sur le développement des filières riz et maraîchage au Bénin. Rapport d'étude, 77p
- Adanabou, K.E.P. 2013. Phénotypage de 440 accessions de l'espèce africaine Oryza glaberrima steud pour la vigueur végétative et pour l'architecture de la panicule. Mémoire de Master : Sélection et valorisation des Ressources Phytogénétiques. Option : Génétique et BiotechnologieVégétales. Université de Ouagadougou. 90 p.
- Adebiyi K.D., Maiga-Yaleu S., Issaka K., Ayena M., Yabi J.A., 2019. Déterminants de l'adoption des bonnes pratiques de gestion durable des terres dans un contexte de changement climatique au Nord-bénin: cas de la fumure organique. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 13(2): 998-1010.
- 4. Adrao, 2008. Guide pratique de la culture des NERICA de plateau 2008. Cotonou, Bénin : Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO). 36 pp.
- Ángladette A., 1966. Le riz collection: techniques agricoles et productions tropicales. Éditions G-P. Maisonneuve & Larose, bibliothèque de la FAO (Hanoi). 8-37 pp.
- Arouna A., AdegbolaY., Arodokoun U. & Bankole A.B., 2013. Analyse des stratégies et mesures politiques pour l'adaptation aux changements climatiques en Afrique de l'Ouest et du centre : Etude de cas du Bénin. Agronomie Africaine Numéro spécial sur les changements climatiques 6 :41-55.
- Atidegla C.S., Koumassi D., Mouzou E.T., Houssou E., 2017. Variabilité climatique et production du riz dans le bas fond de Dokomey au Bénin. Journal Recherche Scientifique Université de Lomé, Togo, 19 (2): 259-276.
- 8. CCR-B (2014), Rapport technique d'activités, Mai 2009 Avril 2012. Secrétariat Permanent ; 43 p.
- Chaudary R.C., Nada J.S., Trani D.V., 2003. Guide d'identification des contraintes de terrain à la production du riz. FAO, Rome, Italie.
- Chen R, Senbaryam M, Blagodatsky S, Myachina O, Dittert K, Lin X et al., 2014. Soil C and N availability determine the priming effect: microbial N minig and stoichiometric decomposition theories. Global Change Biology 20: 2356-2367.
- Christophe J.D., 2016. La bouse: historique, importance et écosystème. Ecole nationale vétérinaire de Toulouse, Toulouse, France, 12p.
- 12. Dupaigré F.B., 2005. Etude de la compétitivité des filières agricoles dans l'UEMOA, UEMOA, DDRE, pp274.
- 13. Gbenou P., 2013. Evaluation participative du SRI dans la base vallée de l'Ouémé au Bénin. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calai, Abomey-Calavi, Bénin, 136p.
- Daroui A., 2018. L'influence des pratiques culturales sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols dans deux régions d'Algérie « cas de Annaba et Sétif ». Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar- Annaba, Algérie, 98p.
- Debouto B., Zavinon F., 2019. Effet d'un fertilisant biologique sur la productivité de l'amaranthe (Amaranthus cruentus).
 Mémoire de fin de formation pour l'obtention de la licence professionnelle. EGPVS, UNA, Kétou, Bénin, 42p.
- Houngbo E.N., 2016. Agroécologie, la solution à l'insécurité alimentaire face au changement climatique en Afrique. Numéro spécial Agronomie, Société, Environnement et Sécurité alimentaire: 1025-2355.
- 17. INSAE., 2002. Direction des études démographiques.

- Kaboré S.P., 2011. La riziculture pluviale stricte, une contribution à l'accroissement de la production du riz au Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur du développement rural en vulgarisation agricole à l'IDR/UPB. 65p
- Katé S., Dagbénonbakin G.D., Agbangba C.E., de Souza J F., Kpin G., Azonton A., Ogouwole E., Timé S., Sinsin B.,
 2014. Perceptions locales de la manifestation des changements climatiques et mesures d'adaptation dans la gestion de la fertilité des sols dans la commune de Banikoara au Nord –Bénin. Journal of Applied Biosciences (82):7418-7435.
- Keita M., Samaké K., 2007. Recherche sur le savoir local comme facteur de développement de la production agricole et une amélioration de la gestion des ressources naturelles. Cabinet d'Etudes Kéita. Rapport provisoire, 56 p.
- Lal R., 2016. Beyond COP 121: potential and challenges of the "4 per thousand" initiative. Journal of soil and water conservation 71:20A-25A.
- Lipper L., Thornton P., Campbell B.M., Baedeker T., Braimoh A., Bwalya M et al., 2014. Climate –start agriculture for food security. Nature Climate Change 4: 1068-1072.
- 23. MAEP ,2018. Analyse Globale de la Vulnérabilité et la Sécurité Alimentaire (AGVSA).22p.
- 24. Manuel Technique sur le SRI en Afrique de l'Ouest Tome2. (2014).
- 25. Memento de l'Agronome. (2002). Ministère des affaires étrangères. CIRAD-GRET. 1698p.
- 26. Monographie de la Commune d'Adjohoun. (Mai 2006).
- Moukoumbi Y.D., 2001. Caractérisation des lignées interspécifiques (O. sativa x O. sativa) et interspécifiques (O. glaberrima x O. sativa) pour leur adaptabilité a la riziculture de bas-fond. Mémoire d'ingénieur de développement rural, Université Polytechnique de Bobo. 51p.
- 28. Ndegwa P.M. & Thompson S.A., 2001. Integrating composting and vennicomposting of
- 29. the treatment and bioconversion of biosolids. Bioresource Technology 76: 107-112.
- 30. PANA, 2008. Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques du Bénin (PANA-Bénin) Convention cadre des nations unies sur les changements climatiques. Cotonou, 81p.
- 31. Raemaekers R.H., 2001. Crop Production in Tropical Africa. DGIC, Brussels, Belgium. P 1540.
- 32. Razafimbelo T.M., Andriamananjara A., Rafolisy T., Razakamanarivo H., Masse D., Blanchart L., Ravonjiarison N., Albreicht A., 2018. Impact de l'agriculture climato-intelligente sur les stocks de carbone organique du sol à Madagascar. Cahier de l'agriculture 27:35001.
- SAED, JICA, ISRA AfricaRice., 2011. Manuel pratique de riziculture irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal. Sénégal.117p.
- 34. Seck P., Toure A., Coulibaly J., Diagne A. and Woopereis M., 2013. Africa's Rice Economy Before and After 2008 Rice Crisis, Book chapter. In Realizing Africa's Rice Promise. Forthcoming, 138p.
- Sié M., Dogbé S. et Diatta M., 2009. Sélection variétale participative du riz. Manuel du technicien. ADRAO, Cotonou, Bénin.118 p.
- Soma M., 2014. Phénotypage de 154 accessions des espèces de riz cultivées pour leur aptitude à la compétition vis-à-vis des mauvaises herbes. Master Professionnel en Sélection et valorisation des Ressources Phytogénétiques Université de Ouagadougou (UO). 2012/2013.57p
- 37. Stratégie Nationale pour le Développement de la Riziculture. (2011).
- 38. Uphoff N., 2007. Reducing the Vulnerability of Rural Households through Agro ecological world in development Considering the System of Rice Intensification, 15p.
- 39. Yabi J.A., Yegbemey R.N., Tovignan S.D., 2013. La gestion des facteurs de production comme adaptation aux variations climatiques inter-saisonnières: Cas de la riziculture au Bénin. In: Behnassi M., Barrière O., Stoessel-Ritz J., Arib F., Prévil C. (eds.). Les systèmes socio-écologiques en Afrique du Nord et de l'Ouest face au changement global. Département d'Economie et de Sociologie Rurales(DESR), Faculté d'Agronomie(FA), Université de Parakou(UP), République du Bénin, pp.200-220.

Epolyste Adjeffa, Ayambi Goutima, Abdel-Aziz and and Adoudou Mahamat Etude diagnostique de la contamination par les nitrates des eaux souterraines de la plaine de djermaya, province de hadjer lamis au Tchad

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement,

Vol.(v), No.1, Avril 2021, pp.79-87

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



Etude diagnostique de la contamination par les nitrates des eaux souterraines de la plaine de djermaya, province de hadjer lamis au Tchad

Epolyste Adjeffa¹, Ayambi Goutima², Abdel-Aziz³, Adoudou Mahamat³

- ¹ Faculté des Sciences Exactes et Appliquées de Farcha, Université de N'Djamena, BP: 1027 N'Djamena, Tchad
- ² Département des Sciences de l'éducation, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena,
- ³ Faculté des Sciences Exactes et Appliquées de Farcha, Université de N'Djamena, BP: 1027 N'Djamena, Tchad

Résumé

Un regard sur l'état de contamination par les nitrates des eaux souterraines de la plaine de Djermaya, Province de Hadjer Lamis au Tchad a été effectué en 2020. Trois méthodes ont été retenues (i) le diagnostic physique du terrain (ii) la mesure de la piézométrie des points d'eau (iii) l'analyse physico-chimique des eaux des ouvrages hydrauliques locaux. Les résultats montrent que 20% des ourrages hydrauliques échantillonnés ont des teneurs en nitrates supérieures à 50 mg / l, ce qui représente la limite de la norme nationale. L'étude des origines des ions nitrate présente un comportement hydro-chimique des différent des autres éléments. Cela présage qu'ils proviennent probablement des activités humaines puisque la plaine de Djermaya est un sanctuaire d'activités agro-pastorales caractérisées par une utilisation inappropriée de produits chimiques en plus des rejets de l'industrie locale. Les mesures piézométriques ont permis de déterminer le sens de l'écoulement des eaux souterraines qui converge vers Djinéné à l'Est.

Mots clés: Eau Souterraine, Contamination, Nitrate, Plaine De Djermaya, Piézométrie, Tchad.

Diagnostic study of nitrate contamination of groundwater in the djermaya plain, hadjer lamis province in Chad

Abstract

A look at the state of nitrate contamination of groundwater in the Djermaya plain, Hadjer Lamis Province in Chad was carried out in 2020. Three methods were retained (i) the physical diagnosis of the land (ii) the measurement of the piezometry of the water points (iii) the physico-chemical analysis of the water from the local hydraulic structures. The results show that 20% of the sampled hydraulic structures having levels of nitrates above 50 mg | 1 which represents the limit of the national standard. The study of the origins of nitrate ions present hydro-chemical behavior differs with other elements. This presages that they probably come from human activities since the plain Djermaya is a sanctuary of agro-pastoral activities characterized by inappropriate use of chemicals in addition to discharges from local industry. The piezometric measurements made it possible to determine the direction of the groundwater flow which converges towards Djinéné in the east.

Key words: Groundwater, Contamination, Nitrate, Piezometry, Djermaya Plain, Chad

¹ Corresponding author: epolyste@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'eau douce qui ne représente que 2.5% du volume total de l'eau de la planète devient de plus en plus une préoccupation dans beaucoup de régions du monde, notamment en Afrique subsaharienne à cause des pressions diverses qu'elle subit (Paquerot, 2005; Baron, 2009). Cette pression sur les ressources en eau douce va encore augmenter avec la forte croissance démographique, la nécessaire croissance de la production agroalimentaire, le développement industriel (Baron, 2009).

L'accroissement accéléré de la contamination des systèmes aquifères au cours des dernières années ainsi que la modification progressive de la nature des pollutions qui deviennent de plus en plus chimiques et toxiques à court ou long terme, ont contribué à faire de la détermination de la qualité chimique des eaux l'un des principaux soucis de la recherche hydro-éologique (Atanosova.E., 2008). Parmi les polluants organiques, le nitrate, constitue le principal facteur. Il se trouve essentiellement dans les engrais et constitue la source majeure de matières azotées des plantes. Les deux tiers de la pollution par le nitrate sont causés par les cultures et l'élevage intensif. Les agriculteurs utilisent de plus en plus d'engrais car les productions agricoles en nécessitent des quantités importantes (jusqu'à 500 kg/ha) pour un meilleur rendement. Si on met trop d'engrais, la plante ne peut tout absorber et le nitrate s'infiltre donc dans le sol et finit par polluer les nappes phréatiques puis les rivières. L'inconvénient immédiat de cette pollution est de favoriser l'apparition de mauvais goût de l'eau qui pourra être exacerbé par la chloration, et de faciliter le développement des germes, algues et champignons (CHantigny.M.H., 2007). C'est dans cette perspective que notre étude qui est une investigation sur la plaine de Djermaya où s'articulent allègrement les activités agropastorale et industrielle, s'inscrit.

L'objectif global est de déterminer le degré de contamination aux nitrates des eaux souterraines de la plaine de Djermaya. Plus spécifiquement il s'agit de:

- 1. Faire des analyses physico-chimiques pour déterminer le degré de concentration du nitrate dans les eaux des nappes et identifier son origine;
- 2. Faire la piézométrie pour déterminer le sens d'écoulement des eaux souterraines et faire le lien avec le comportement hydrochimique des ions en solution.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

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





- 1. Un GPS (Global Positioning System) de marque Garmin qui Encadré N°1 : le matériel d'étude
- 2. Global position system (GPS) relève les coordonnés géographiques des points
- 3. Une sonde piézométrique de 100m pour mesurer les niveaux piézométriques.
- 4. Les flacons d'échantillonnages en polyéthylène : de 500 ml
- 5. Un multimètre de terrain WTW, pour des in situ des paramètres physique.
- 6. Spectrophotomètre DR800.

Localisation du site d'étude: La zone d'étude qu'est la plaine de Djermaya est située dans le département de Haraz-albiyaar, province de Hadjer-Lamis, entre le 12,06° et le 13,20° de latitude Nord et le 14,50° et le 15,90° longitude Est. L'accès à la plaine est assuré par la route bitumée reliant la ville de Ndjaména et celle de Massaguette sur un parcours de 90km. La figure N°1 montre respectivement la localisation de la province et de la plaine de Djermaya.Dominée par un climat sahélien, la zone d'étude est densément peuplée et compte 562 957 habitants selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2009. La plaine de Djermaya est un sanctuaire d'activités socioéconomiques basées sur l'agriculture, l'élevage, la pêche et le commerce. C'est à la fois une zone industrielle où est installée une raffinerie depuis dix ans, qui œuvre dans la transformation des produits pétroliers.

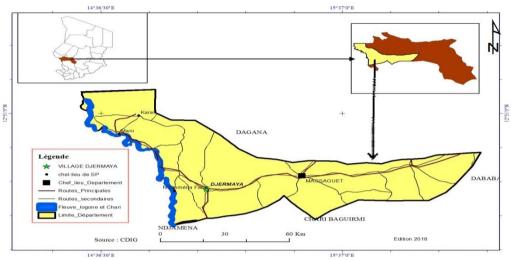


Figure 1 - Carte de localisation de la plaine de Djermaya

Méthodes

Trois méthodes ont été retenues : le diagnostic physique du terrain, piézométrie et les analyses physico-chimiques des eaux de la plaine de djermaya.

Diagnostic physique de la zone d'étude

Le travail a consisté à faire des constats de terrain assortis des prises de vues et des échanges avec des populations locales.

Piézométrie

La piézométrie désigne l'ensemble de mesures des niveaux piézométriques : niveau statique, niveau dynamique des ouvrages hydrauliques, puits et forages de la zone. Le procédé a utilisé une sonde piézométrique pour effectuer les différentes mesures. La campagne a duré 5jours et a touché 14 forages et 1 puits dont les coordonnées ont été levées et leur positionnement sur la carte de la zone d'étude a été réalisé comme illustré sur la figure N°2. Ces ouvrages ont été choisis au regard de la densité des activités agropastorales et industrielles autour de ceux-ci. Une collecte des fiches techniques de quelques ouvrages hydrauliques a été effectuée auprès de la délégation provinciale de l'hydraulique. Elle permet de visualiser les paramètres hydrodynamiques de ces ouvrages (niveau statique, profondeur totale, débit d'essai). Le niveau piézométrique est obtenu en effectuant la différence entre l'altitude du point par rapport au niveau de la mer, obtenue par GPS et le niveau statique de l'eau dans l'ouvrage.

Le Niveau piézométrique = Altitude - Niveau statique.

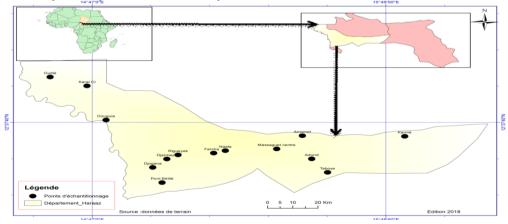


Figure 2 - Carte de localisation des forages et des puits échantillonnés

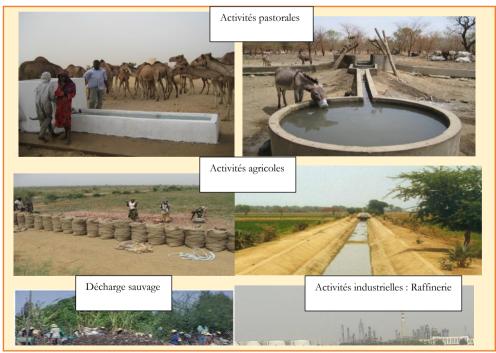
Analyse au Laboratoire: Quinze (15) échantillons d'eau ont été prélevés à raison d'un échantillon par ouvrage.La répartition spatiale des points d'échantillonnage est représentée dans la figure N° 2. Certains paramètres tels que le potentiel d'hydrogène (pH), la Température, la conductivité électrique ont été mesurés in situ. Les échantillons prélevés ont été conservés dans une glacière et acheminés le même jour du prélèvement au Laboratoire Nationale des Eaux (LNE) pour analyse. Les paramètres chimiques recherchés par l'analyse sont d'une part, les ions Ca²+ Mg2+, Cl- et HCO₃ dosés suivant la méthode volumétrique et d'autre part, les ions Na+ et K+ qui sont déterminés par la méthode spectrométrique utilisant le spectrophotomètre à flamme. Enfin les éléments tels que le Fer total, les ions SO₄², NH₄+ et NO₃ sont déterminés par le spectrophotomètre DR2800. L'intérêt d'analyser et de déterminer la concentration de ces éléments est non seulement de se prononcer sur le risque de contamination au nitrate mais aussi d'établir une corrélation entre ces éléments afin de montrer l'origine de la contamination.

Analyse des données: L'analyse des données et l'établissement des cartes notamment, la carte de vulnérabilité ont été possibles au moyen des logiciels de traitement multicritères: Arc-Gis, QGis, Surfer et xlstat. Le logiciel Diagramme a servi à la détermination des faciès chimiques des eaux.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Résultats de Diagnostic physique du terrain

Du constat du terrain, il ressort que la plaine de Djermaya est dotée d'une raffinerie qui traite d'importants produits pétroliers susceptibles de pollution par les nitrates entre autres. Une décharge accueille chaque jour plus de 300tonnes des déchets solides en provenance de N'Djamena. Cette décharge produirait sûrement des lixiviations qui peuvent vraisemblablement s'infiltrer dans le sol et atteindre la nappe vu qu'elle ne dispose pas un système d'évacuation et de traitement de ces liquides. De plus, les activités pastorales et agricoles sont observables dans la plaine comme résumé sur l'encadré N°2. Les points d'eau, le plus souvent dépourvus des équipements de surface comme la dalle anti-bourbier voire peu étanches, sont des lieux de rencontre entre tous les utilisateurs (animaux et Hommes) ;ce qui crée une insalubrité autour de ces ouvrages. Les bourbiers mélangés de déjections animales pénètrent dans le sol et peuvent atteindre les nappes souterraines. D'autre part, les activités agricoles y sont intenses et cristallisent une utilisation irrationnelle des produits phytosanitaires et intrants chimiques pour améliorer le rendement des cultures. Tout cela constitue les facteurs de risque de contamination au nitrate de la nappe de la plaine de Djermaya.



Encadré N°1 : les activités socio-économiques, facteurs contributifs à la pollution au nitrate de la plaine de Djermaya

Résultats de la Piézométrie

En plus des coordonnées géographiques des ouvrages, le nom du quartier ou village où ils sont installés leur a été affecté comme indiqué au tableau N ° 1.

Altitude(m) Code_Type_Ouv NS(m) NP(m) Pont Bélilé 15.2833338 12.8666668 288 FOR 14.85 273.15 15 3013887 12.6444445 289 FOR 39.65 249 34 Djogana Diermaya 15.8983335 12.5472221 295 PUI 40.05 254.95 Adorot 15.7513885 12.4944448 295 FOR 40 255 Amsinet 15.4388885 12.4777775 293 FOR 42.60 250.40 Farcha 14.9972219 12.4666662 292 FOR 27.65 264 35 Tabove 14.9499998 12.5722218 293 FOR 0.04 292.96 Naala 14.958333 12 6888885 290 FOR 22.10 267.870 Massaguet centre 15.1166668 12 5333338 292 FOR 32.70 259 279 Karmé 15.0500002 12.416667 293 FOR 29 264.02 14.833333 287 FOR 279.7 Douguia 12 6416664 7.30 Guitté 15.25 12.4499998 293 FOR 37.97 255.02 12.8902779 255.799999

Table 1 - Résultats des paramètres hydrodynamiques des ouvrages hydrauliques

X: Longitude; Y: Latitude; NS: Niveau Statique; NP: Niveau piézométrique; FOR: forage; PUI: puits;

286 FOR

292 FOR

289 FOR

30.20

38.12

17.30

253.880001

271.700001

L'analyse du tableau N° 1 montre que les niveaux statiques des ouvrages oscillent entre 14 et 42 m avec une moyenne de 27m; le niveau piézométrique oscille entre 249m à Djinéné contre 292m à Boutelfil. Ce qui donne une faible piézométrie sur l'ensemble de la plaine. La faible piézométrie est évoquée par (Dieng et al., 1999; Rouabhia et al., 2004; Dégbey et al., 2011) comme facteur de diffusion des produits chimiques dans les aquiféres. Par ailleurs,de Boutelfi à Djénéné, on note une déclinaison du terrain. Ce qui rend plus vulnérable Djénené comme point de convergence des eaux. Les levés piézométriques complétés des observations des terrains ont permis l'établissement de la carte piézométrique de la plaine de Djermaya présentée sur la figure N° 3.

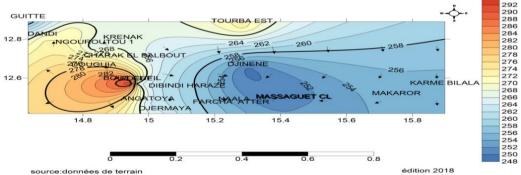


Figure 3- Carte piézométrique de la plaine de Djermaya

14.6338892

15.2586098

14.6777782

12.4650002

12.8000002

Rigueyek Tourba Ecole

Karal Cl

L'analyse de la carte piézométrique montre une zone de dépression à Djinéné. Ce qui est similaire au résultat de Hamit(2012) sur Bachom. Par ailleurs, on remarque que les courbes isopièzes sont espacées autour de la dépression et serrées autour du dôme à Boutelfil. Cet espacement des courbes isopièzes augmente avec la perméabilité voire le débit. Inversement, lorsque la perméabilité diminue, les courbes se resserrent. Ce qui laisse croire que les formations autour de la dépression sont perméables et permettent au polluant de diffuser facilement.

Résultats de l'analyse physico-chimique des eaux

L'analyse physico-chimique a porté sur un échantillon de quinze ouvrages choisis sur la base de la densité des activités agropastorales autour de ceux-ci. Ces ouvrages sont répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. Les résultats de ces analyses sont présentés dans le tableau N°2.

Table 2- Résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la plaine de djermaya

Paramétres	Pont Belilé	Djogana	Djarmaya	Adorat	Amsinet	Farcha	Taboye	Naala	massaguet	Karmé	Douguia	Guitté	Rigueyek	Tourba école	karal	norme Nationale
Ca2+	44	168	48	32	236	32	37,6	408	22,4	224	16	64	47,2	160	80	100
Mg2+	1,2	9,7	11,2	2,4	1,2	9,7	4,7	43,7	1,2	38,9	1,2	29,2	0,5	34	4,9	50
Na+	38	123	89	16	223	48	35	618	37	532	9,1	158	50	213	213	200
K+	4,4	6	8	2,3	11	4,5	7,6	3,1	7,7	11	5,4	8	7,6	9	7	12
Fe2+	0,4	0,1	0	0	0,3	0	0	0,2	0,2	0,2	0	0,3	0,1	0	0,1	0,3
NH4+	0,44	0,38	0,51	1,31	0,87	0,52	0,79	1,36	0,39	1,07	1,1	1,36	1	0,05	0,07	0,5
HCO3-	183	561,2	239,1	73,2	610	146,4	140,1	1512,8	122	244	63,2	414,8	170	378,2	439,2	50
CL-	33	180	60	21	33	50	30	390	22	470	15	60	40	140	6	250
SO42-	12	85	36	5	55	14	17	478	14	1060	0	155	21	560	140	250
NO3-	0,9	0	22	57	22	17	52	25	21	90,5	5	6	9,4	3	22	50
J°T	30,3	29,7	31,1	33,1	30,8	29	31	32	29,4	30,7	29,4	28,9	31,2	30,9	30,8	
CE (µs/cm)	616	1055	768	223	2170	617	529	4100	411	7221	225	1253	552	2465	1543	
PH	6,71	6,67	6,79	6,64	6,74	6,94	6,77	6,59	6,35	6,74	6,73	7,06	6,79	6,66	7,98	

L'analyse des paramètres physiques des eaux échantillonnées montre que les températures du secteur d'étude varient entre 33.1°C à Adorot et 38.9°C à Guitté avec une moyenne de 30.61°C. Elles varient de manière cohérente avec les températures moyennes mensuelles de l'air mesurées à la station de Ndjamena (31 à 41°C).

Les pH mesurés sont homogènes sur l'ensemble des eaux échantillonnées et se situent autour de la neutralité. Ils varient entre 6,35 et 7,95 avec une moyenne de 6.81. Les valeurs les plus faibles sont observées dans la zone de Massaguet et les plus élevées dans la zone de Karal. Les valeurs des conductivités électriques sont hétérogènes sur l'ensemble de la zone d'étude. Les faibles valeurs sont mesurées à Douguia (225 μS.cm-1) à proximité du fleuve Chari-Logone. La conductivité la plus élevée (7221μs/cm) est mesurée à Karmé Bilala. Cette valeur peut s'expliquer par la forte minéralisation de l'eau dans la zone d'étude couronnée par le phénomène d'évaporation au regard de la position de l'ouvrage par rapport à la dépression piézométrique. L'analyse des éléments chimiques et plus particulièrement du nitrate indique que 12 échantillons sur les 15, présentent des teneurs en nitrates conformes à la norme nationale de potabilité contre 3 échantillons qui présentent des teneurs en nitrates au-delà de la même norme. Ce qui représente statistiquement 20% de l'échantillon total analysé. Les fortes valeurs en nitrates sont observées à Karmé (90.5mg/l), à Adorot (57mg/l) et Taboye (52mg/l). Les faibles valeurs sont observées à Pont Bélilé (0.9mg/l), Djogana (0.0mg/l), Tourba (3mg/l), Douguia (5mg/l) et Guitté (6mg/l). Des valeurs intermédiaires sont également observées à Djermaya (22mg/l), Karal (22mg/l), Amsinet (22.2mg/l) et Naala (25mg/l). Cette répartition nous a permis d'établir la carte de la teneur en nitrate présentée à la figure N°4. En définitive, on note que sur l'ensemble de la zone d'étude, la proportion où la teneur en nitrate est au-dessus de la normale est faible.

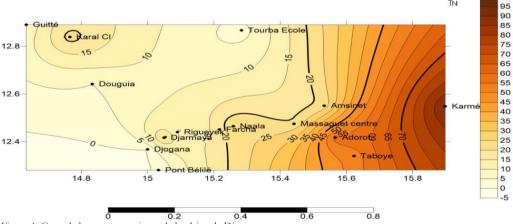


Figure 4- Carte de la teneur sen nitrate de la plaine de Djermaya

Toutefois, pour vérifier la fiabilité des résultats d'analyses, une balance ionique basée sur l'électro-neutralité de l'eau est donnée automatiquement par le logiciel Diagramme pour chaque échantillon d'eau. En effet, une analyse chimique est considérée comme valide lorsque la balance ionique ne dépasse ±5%. Les balances ioniques ont été vérifiées pour l'ensemble des échantillons analysés conformément au tableau N°3. Il se dégage que 93.33% des échantillons présentent un résultat acceptable. Seuls 6.66%, soit un seul échantillon notamment celui du site de Karal présente une balance ionique débordante allant jusqu'a +13%. Cela n'entame en rien la fiabilité des résultats.

Table 3- Balance ionique

N°	Echantillon	Σcations (meq/l)	Σanions (meg/l)	Balance
1	Pont Bélilé	4.10370	4.19440	-1%
2	Djogana	14.71400	16.04400	-4%
3	Djermaya	7.42100	6.71570	5%
4	Adorot	2.62550	2.81540	-3%
5	Amsinet	21.91900	22.73800	-2%
6	Farcha	4.63070	4.37540	3%
7	Taboye	4.02660	4.33420	-4%
8	Naala	51.00600	46.14900	5%
9	Massaguet centre	3.05730	3.25020	-3%
10	Karmé	37.86800	40.78600	-4%
11	Douguia	1.49440	1.53950	-1%
12	Guitté	12.75900	11.81500	4%
13	Rigueyek	4.82390	4.51640	3%
14	Tourba Ecole	20.28300	21.85500	-4%
15	Karal Cl	13.84600	10.63800	13%

En terme clair, on peut affirmer que la plaine de Djermaya accuse une contamination au nitrate par endroit. Afin de déterminer l'origine de cette contamination au nitrate, une corrélation entre le nitrate et les autres éléments chimiques est réalisée pour observer leur affinité. Cette corrélation s'appuie sur une matrice de corrélation qui permet d'établir les relations entre les variables chimiques et de ressortir celles qui présentent un comportement similaire en vue d'avoir une idée sur le chimisme des eaux souterraines.

En effet, l'analyse de la matrice de corrélation permet de retenir les éléments corrélés deux à deux pour voir les éléments qui ont une origine commune. En l'espèce, la corrélation est faite entre le nitrate et le fer qui est un paramètre indésirable et entre le nitrate et l'ammonium qui est un paramètre polluant. Les coefficients de corrélation sont compris dans l'intervalle -1,00 à +1,00. La valeur -1,00 représente une parfaite corrélation négative tandis que la valeur +1,00 représente une parfaite corrélation positive. La valeur 0,00 représente une absence de corrélation (ou l'indépendance entre les variables). Le tableau N°4 présente la matrice de corrélation.

Tableau 4- Matrice de corrélation

Variables	T°C	pН	Cond	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	Fe2+	NH4+	HCO3-	CL-	SO42-	NO3-
Т°С	1												
ρН	-0.060	1											
Cond	0.164	-0.027	1										
Ca2+	0.291	-0.148	0.741	1									
Mg2+	0.084	-0.081	0.776	0.690	1								
Na+	0.246	0.028	0.911	0.903	0.827	1							
K+	-0.295	0.068	0.409	0.117	0.149	0.197	1						
Fe2+	-0.314	-0.072	0.216	0.289	0.071	0.265	0.132	1					
NH4+	0.233	-0.268	0.206	0.229	0.241	0.264	-0.197	0.085	1				
HCO3-	0.230	-0.002	0.445	0.890	0.587	0.760	-0.137	0.307	0.214	1			
CL-	0.181	-0.227	0.909	0.783	0.825	0.891	0.134	0.133	0.280	0.558	1		
SO42-	0.153	-0.078	0.948	0.727	0.714	0.829	0.556	0.208	0.137	0.385	0.787	1	
NO3-	0.463	-0.058	0.572	0.170	0.240	0.387	0.193	-0.149	0.353	-0.110	0.469	0.497	1

Corrélation entre le nitrate et le fer

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

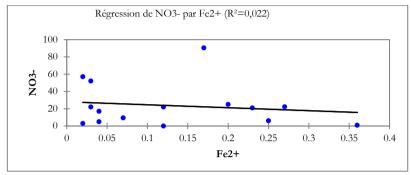


Figure N°5 : Corrélation entre le nitrate et le fer

Corrélation entre le nitrate et l'ion ammonium

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

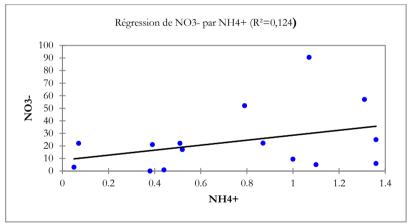


Figure 6: Corrélation entre le nitrate et l'ammonium

En définitive, l'un dans l'autre, on note qu'il n'y a pas de corrélation significative entre le nitrate et les différents éléments chimiques. L'hypothèse d'une hydrolyse chimique qui libère des bases échangeables susceptibles d'expliquer la concentration anormale du nitrate dans l'eau ne se justifie pas. Par contre l'origine des teneurs élevées en nitrates observées par endroit dans la zone d'étude notamment à Karmé 90.5mg/l, Taboye 52mg/l et Adorot 57mg/l pourrait s'expliquer par la densité des activités agropastorales locales caractérisées par l'utilisation inappropriée des intrants chimiques et des amendements organiques à la base des déjections animales. Ce résultat corrobore ceux de Girard et Hillaire-Marcel., 1996; Walvoord et al. 2003; Stadler et al. 2008 qui ont rapporté que la présence de nitrates, en concentration élevée, dans des aquifères sous climat aride, est due à une pollution anthropique. La faible piézométrie peut aussi etre indexé comme un facteur de diffusion des polluants dans les aquifères. A ce sujet , Mehdaoui (2000), Sbei (2004), Arumi (2006) et Mouni (2009) ont trouvé que les aquifères peu profonds ou non confinés peuvent être contaminés par des rejets ou des suintements dûs à des pratiques agricoles présentes sur le site. L'hypothèse d'une contamination d'origine industrielle n'est pas mise en évidence dans la mesure où les ouvrages situés à proximité de la raffinerie présentent des faibles concentrations en nitrate, il s'agit notamment de Rigueyek (9.4mg/l), Djogana (0.0mg/l) et Farcha (17mg/l). Toutefois, l'effet de la diffusion ou de la dispersion du nitrate à long terme dans la nappe pourrait impacter toute la zone d'étude si les dispositions conséquentes ne sont pas prises.

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (vi) - Numéro 1 – Avril 202

Epolyste et al. / IISTEE, Vol. (vi), No. 1, Avril 2021, pp. 79-87

CONCLUSION

L'objectif assigné à cette étude, était de faire le point sur l'état de contamination au nitrate de l'eau souterraine de la plaine de Djermaya. Les résultats auxquels nous sommes parvenus montrent qu'une contamination des eaux au nitrate est détectée dans 20% des ouvrages prélevés dans la plaine de Djermaya. La corrélation du nitrate avec les autres éléments chimiques des eaux analysées montrent une indifférence significative du nitrate avec ceux-ci. Cet élément montre que l'origine des nitrates dans les eaux serait due probablement à l'utilisation irrationnelle des intrants chimiques et des amendements organiques à base des déjections animales.

L'étude hydrodynamique a permis de déterminer le sens d'écoulement des eaux et de mettre en évidence une zone de dépression piézométrique à Djinéné. Elle montre en général une faible piézométrie sur l'ensemble de la zone d'étude. L'analyse des sols pour apprécier leur degré de pollution en nitrates et leur indice de vulnérabilité constitue un résultat non atteint de l'étude. Notre souhait est de voir les prochaines études s'appesantir sur cet aspect d'étude. Njitchoua et al.(1996) ont montré que naturellement, les eaux et les sols renferment de nitrate. Celui-ci provient de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales telles que légumineuses par des cyanobactéries. Mais lorsque les concentrations dépassent les normes d'un pays, les investigations scientifiques sont les voies qui permettent de faire l'état des lieux et fournir des outils d'aide à la décision. Il est en définitive nécessaire d'informer, d'éduquer et communiquer avec les agropasteurs locaux de la nécessité d'une utilisation conventionnelle de sources de nitrate.

Références

- 1. Paquerot S (2005). Eau douce : la nécessaire refondation du droit international, Puq.
- 2. Baron C., 2009. L'eau en Afrique : disponibilité et accès. Revue Futuribles N°359.
- 3. CHantygny. M.H., (2007). Mythes et réalités sur l'azote et des fumiers. Colloque sur l'azote. Centre de Référence
- 4. Agronomique et Agroalimentaire du Québec et l'Ordre des Agronomes du Québec, 6 p.
- 5. Girard, P. AND Hillaire-Marcel, C., (1996). Determining the source of nitrate pollution in Niger discontinuous aquifers using the natural 15N/14N ratios. Journal of Hydrology, 199,3-4, pp.239-251.
- 6. Hamit A., (2012). Etude du fonctionnement hydrogéochimique du système aquifère du Chari Baguirmi. Thèse
- 7. Univ. Poitiers, 288p.
- 8. Atanosova, E., (2008). « Effect of nitrogen sources on the nitrogenous forms and accumulation of amino acid in
- 9. head cabbage » .Plant, Soil and Environment, Volume 54, pp. 66-71.
- Dieng Y., Tandia A., Wane. A.T., Gaye O., DIOP E. S.; DIALLO S.(1999). Les parasitoses intestinales chez les habitants d'une zone periurbaine a nappe phreatique polluee par les nitrates d'origine fecale (Yeumbeul, Sénégal). Cahiers santé; 9: 351-356.
- Rouabhia A., Baali. F., Kherici N., DJarbi L. (2004). Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algerie). Sécheresse; 15: 347-52.
- 12. Degbey C., Makoutodé M., Agueh V., Dramaix M.; Debrouwer C. (2011). Facteurs associes a la qualite de l'eau de puits etprevalence des maladies hydriques dans la commune d'Abomey Calavi (Bénin). Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé, 21: 47-55.
- 13. Mehdaoui O., Venanta A., Fekhaoui M. (2000). Contamination par les pesticides organochlorés et les nitrates de la lagune de Moulay Bouselham, Maroc. Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé ; 10 : 381-12. Sebei A.,
- CHaabani F., Souissi F., Saadi A. (2004). Hydrologie et qualité des eaux de la nappe de Grombalia (Tunisie nordorientale). Sécheresse; 15: 159-66.
- Arumi J.L., Nunéz J., Salgado L., Claret M. (2006). Evaluación del riesgo de contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable rural en Chile. Rev Panam Salud Publica, 20: 385-392. doi: 10.1590/S1020-49892006001100004.
- Mouni L., Merabet D., Arkoub H., Moussaceb K. (2009). Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algerie). Sécheresse; 20: 360-6. doi: 10.1684/sec.2009.0209
- Walvoord, M.A.Philips.F.M; stonestrom, D.A. Evans, R.D., Hartsoungh, PC. Newman, B.D., et Striegl, R.C., 2003. A
 reservoir of nitrate beneath desert soils sciences 302, pp.1021-1024.
- Stadler. et al. 2008, Undertanding the origin and fate of nitrate in groundwater of semi-aride environments. journal of Environments, 72:1830-1842
- Njitchoua R., Dever L., Fontes J.C. And Naah E., 1996. Geochemistry, origin and recharge mechanisms of groundwaters from the Garoua Sandstone aquifer, northern Cameroon. Journal of Hydrology, 190: 123 140.

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (VI) — Issue 1 — April 2021

Water-Agriculture-Climate'2021



Faced with climate and food issues: Reinventing Water-Agriculture-Climate relations

Editor-in-Chief: Pr Noureddine Gaaloul

Published by:

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

Gaaloul Noureddine, Saeid Eslamian, Rim Katlane Integrated Water Resources Management and Climate Change International Journal Water Sciences and Environment Technologies Vol. (v1), Issue 1, April 2021, pp. 89-103 ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access International STEE Journal

www.jiste.org Scientific Press International Limited

Integrated Water Resources Management and Climate Change

Gaaloul Noureddine¹, Saeid Eslamian², Rim Katlane³

- ¹ National Institute of Research in Rural Engineering of Water and Forestry, IRESA, University of Carthage, Tunisia
- ² Department of Water Engineering, Isfahan University of Technology, Iran
- ³ GEOMAG (LR19ES07)/PRODIG (UMR 8586), University of Mannouba-Tunis Campus Universities B.P.95 2010 Manouba, Tunisia;

Abstract

This paper presents the state of the art of Integrated Water Resources Management (IWRM) by identifying users, their management tools, theory and how their tools should be used in recurring scenarios of water management and analyses the institutional setting and the possibilities for feasible IWRM. The chapter takes an interdisciplinary approach to IWRMS, which provides a set of tools for policy development, planning and organization, assessment, systems analysis, finance, and regulation The theory provides a unifying framework to foster understanding among disciplines and participants about how IWRM should be applied. It reviews the concept, contemporary research efforts and the implementation of (IWRM). The IWRM concept was established as an international guiding water management paradigm in the early 1990ies and has become a vital approach to solving the problems associated with the topic of water. Owing to the multidisciplinary nature of IWRM, cooperation between different organizations and institutions at different levels is an absolute prerequisite for its successful implementation. Yet, the institutional and governance aspects are usually not well addressed in commitments and recommendations, and subsequently in policy analyses related to river basin management. Some caes of the of Integrated Water Resources Management and Climate changet are presented

Key Words: Integrated Water Resources Management and Climat Change

Gestion intégrée des ressources en eau et changement climatique

Résumé

Cet article présente l'état de l'art de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) en identifiant les utilisateurs, leurs outils de gestion, la théorie et comment leurs outils devraient être utilisés dans des scénarios récurrents de gestion de l'eau et analyse le cadre institutionnel et les possibilités d'une GIRE réalisable. Le chapitre adopte une approche interdisciplinaire de la GIRE, qui fournit un ensemble d'outils pour l'élaboration de politiques, la planification et l'organisation, l'évaluation, l'analyse des systèmes, le financement et la réglementation La théorie fournit un cadre unificateur pour favoriser la comprébension entre les disciplines et les participants sur la façon dont la GIRE devrait sois appliqué. Il passe en revue le concept, les efforts de recherche contemporains et la mise en œuvre de (GIRE). Le concept de GIRE a été établi en tant que paradigme international de gestion de l'eau au début des années 1990 et est devenu une approche vitale pour résoudre les problèmes associés au thème de l'eau. En raison de la nature multidisciplinaire de la GIRE, la coopération entre différentes organisations et institutions à différents niveaux est une condition préalable absolue à sa mise en œuvre réussie. Pourtant, les aspects institutionnels et de gouvernance ne sont généralement pas bien traités dans les engagements et les recommandations, puis dans les analyses des politiques liées à la gestion des bassins bydrographiques. Quelques caes de la gestion intégrée des ressources en eau et du changement climatique sont présentés

Mots Cles: Gestion intégrée des ressources en eau et changement climatique

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

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 – April 2021

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

INTRODUCTION

IWRM has been the accepted paradigm for efficient, equitable, and sustainable management of water resources since the 1990s. It recognizes the dual relationship between the environment and water resources. The environment is both a water using sector and as the resource base a provider of ecological and hydrological services that maintain the water resources in a fit state for all sectors. According to the Global Water Partnership, the water resources are under increasing pressure due to the demographic pressure and improved standard of living. The global population increased by a factor of three during the 20th century and will reach 10 billion people by 2050. Climate change is progressively modifying both plant water demand and the water available from rainfall [103]. The Mediterranean, cradle of our modern civilizations and subject to growing geopolitical issues, is also one of the most sensitive area to pollution of all types and to ongoing climate change. The most recent scientific results should be at the basis of a realistic policy of sustainable development to ensure the stability of the Mediterranean countries. Since the adoption 40 years ago of the Mediterranean Action Plan (MAP) under the United Nations Environment Programme (UNEP), and the creation of the Union for the Mediterranean 10 years ago, scientific research, such as MISTRALS and MedCLIVAR, has been organized to understand the mechanisms involved in the climate and environmental changes in the Mediterranean and to provide answers to the questions of our societies. More recently, in 2015, a synthesis effort was initiated within a network of experts covering the whole of the Mediterranean (MedECC) to make these scientific results accessible and useful to decision-makers.

Threats to watersheds come from direct human activities or indirect transport by air pollutants [72]. Modeling both the natural processes and human demands of the hydrological system requires the use of an integrated approach in order to understand how climate change may impact the entire water system [36]. The demand is not only to detect new groundwater resources but also to protect them. Coastal areas in several countries, mainly those situated in the semi-arid regions (Tunisia, Algeria, Morocco, Egypt ...) are characterized by groundwater vulnerable to salinization by seawater [35]. Water resources management has traditionally been done in a sectorial manner and with this fragmented approach it has not been possible to fully address the supply and demand problems for various water uses northe cumulative effects on water quality from different land use activities [81].

Origins and development of the Integrated Water Resources Management (IWRM)

Watershed management has existed for millennia [100]; nevertheless, a holistic and bottom-up approach [56] has only emerged since the 1970s. Darghouth et al. [26] consider that the shift from an "engineering-led" approach to a participatory approach actually occurred during the 1990s. Very few ideas and recommendations have been embraced in the "water world" as quickly, enthusiastically and universally as IWRM. Probably the most prominent among these events was the World Summit on Sustainable Development held in Johannesburg in 2002. The Johannesburg Plan of Implementation (JPoI) [90] stipulates that within five years all countries should have IWRM and water efficiency plans. While this appeal triggered the compilation of national IWRM plans the implementation of this resolution was much less than universal. With this resolution the JPoI placed IWRM at the national level. Other models are also promoted however. The European Water Framework Directive (EC 2000/60/EC) defines the basin and "water body" scale as appropriate for water resources management whereas other sources promote small scale, stakeholder involved IWRM [22]. In this context it is worth mentioning the critical evaluation of IWRM [10; 12] highlighting the meager accomplishments in applying IWRM worldwide. More than a decade after this review IWRM still looks like a cherished birthday cake, none of the guests daring to cut and savor. The above-mentioned enthusiasm for IWRM is accompanied by fairly broad interpretations [59].

This basically unresolved duality of IWRM being interpreted either as a philosophy, or a methodology (tool) can be seen as the main reason for its popularity and frequent endorsement, whereby being simultaneously hampered in becoming a day to day tool in water related institutions. One core dilemma already highlighted by Bogardi [20] is the question of what is to be integrated? This question has been reoccurring in the debate ever since [12, 71, 45].

The Derde Nota Waterhuishouding [77] defines IWRM as "Interrelated water resources policy making and management by government agencies responsible for the strategical and management tasks, executed on the basis of the systems concept under consideration of the internal functional relationships between quality and quantity aspects of both surface- and groundwater, as well as the external interactions between the water resources management and management of other fields like environmental protection, regional planning, nature conservation etc."

This definition is a clear example of a political/administrative guideline with clear limitations and degrees of consideration of what and how to be integrated. With the reference to systems concept even a hint of methodological prescription is given. Clearly this definition was formulated with IWRM as a practical tool in mind.

While NeWater calls IWRM a "Dublin-Rio principle" the four Dublin principles (the outcome of the Dublin Conference 1992) do not use explicitly the term "IWRM". Rather Principle 2 "Water development and management should be based on a participatory approach, involving users, planners and policy makers at all levels"

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 - April 202'

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

refers to a participatory approach involving all stakeholders at all levels. Thus, it calls for a kind of vertical integration in the sociopolitical sphere rather than emphasizing the need for the topical (horizontal) integration. It is a substantial addendum (or difference) compared to the definition by Rijkswaterstaat [77].

Within the promulgation of the new water law of the Republic of South Africa in the late 1990s the Department of Water Affairs and Forestry (DWAF) formulated the following definition [42].

"IWRM is a philosophy, a process and a management strategy to achieve sustainable use of the resources by all stakeholders at catchment, regional, national and international levels, while maintaining the characteristics and integrity of water resources at the catchment scale within agreed limits."

Various authors agree to place the birth of Integrated Water Resource Management (IWRM) in 1992 with the Dublin world conference and the World Summit in Rio [39, 56, 23]. Chapter 18 of Agenda 21 [91] states that all states could establish the institutional basis for IWRM by the year 2000 and have completed parts of all freshwater programs by 2025.

IWRM is a process of assignment of functions to water systems, the setting of norms, enforcement (policing) and management. It includes gathering information, analysis of physical and socioeconomic processes, weighing of interests and decision making related to availability, development and use of water resources [46]. IWRM involves the coordinated planning and management of land, water and other environmental resources for their equitable, efficient and sustainable use [24]. IWRM expresses the idea that water resources should be managed in a holistic way, coordinating and integrating all aspects and functions of water extraction, water control and water-related service delivery so as to bring sustainable and equitable benefit to all those dependent on the resource [28].

At the turn of the 21st century, many countries adopted the Agenda 21 guidelines and IWRM "a 2008 survey showed that 22% of the world countries had implemented IWRM plans, while 37% partially implemented it " [89] which has been defined as "a process which promotes the coordinated development and management of water, land and related resources, in order to maximize the resultant economic and social welfare in an equitable manner without compromising the sustainability of vital ecosystems" [39].

The definition of the Global Water Partnership [39; 40; 41] "TWRM is a process which promotes the coordinated development and management of water, land and related resources, in order to maximize the resultant economic and social welfare in an equitable manner without compromising the sustainability of vital ecosystems."

calls IWRM a process and explicitly refers to the necessity of coordinated land and water management, a recommendation which has been repeatedly been called for [19].

The critical evaluation by Biswas from 2004 "The definition of IWRM continues to be amorphous, and there is no agreement on fundamental issues like what aspect should be integrated, how by whom, or even if such integration in a wider sense is possible... in the real world, the concept will be exceedingly difficult to be made operational."

The call for implementation of IWRM on all levels even appears in the recently adopted Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations (Goal 6, Target 6.5), including transboundary cooperative setups by 2030. Compared to the "deadline" set out in the Johannesburg Plan of Implementation in 2002 (5 years) [90] at least the world gives itself 15 years to comply this time. After the unrealistic resolution in 2002 in Johannesburg the elevation of IWRM to be part of an SDG is an opportunity, but not without risks. The credibility of the professional community, but also that of the concept is at stake. This forthcoming challenge, to be encapsulated in an intergovernmental binding resolution, underlines the importance of this book in providing a broad review of the state-of-the-art of IWRM and its various components.

After almost 30 years of less than satisfactory IWRM implementation the impression is emerging that stakeholder and other non-water professional interest groups increasingly attempt to equate IWRM with the concept of multi-stakeholder involvement [23].

Concept of the Integrated Water Resources Management and Climate chnage Projects

The concept of IWRM is based on the principle: waters should be used to provide Economic wellbeing to the people, without compromising social Equity and Environmental sustainability. Waters should be managed in a basin wide context, with stakeholder participation, and under the prevalence of good governance. Today, it appears that IWRM is supposed to be a framework for any water planning and management. Nevertheless, despite the fine principles of IWRM, the feasibility of the concept in the real world has been questioned. Some scholars suggest that the actual use of the IWRM has been minimal, or even indiscernible in the field [11]. According to these views, the concept is too broad and theoretical to be successfully implemented in the field. In most cases, the real challenge is to orchestrate a system that is formulated from small units –or "bits and pieces" as Mohile [69] articulates—that are focused on a certain category of water use.

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

One of the main reasons why the IWRM framework was introduced was to move from command and control to a more flexible and adaptive management approach, where water supplies, availability, infrastructure, demand, ecological factors, societal needs, conservation measures and environmental considerations were addressed in a holistic manner. This requires a more participatory and trans-disciplinary approach. This suggests that scientific knowledge should not be independent of cultural, historic and environmental knowledge. These authors state that scientists should take part in a dialogue with society about uncertainties, values and beliefs. To address all these issues, the river basins, or watershed, were chosen as the natural units, which allows for the measurement of processes, helps integrate land use activities and facilitates the assessment of ecosystem health. This is also an effective way to encourage societal interactions between land use activities, water management and scientific assessment within a natural landscape unit that affects all residents.

Interestingly, integration has also been criticised from the standpoint that, judging by themanner in which it is being promoted in the IWRM framework, it is not all embracing. Critics point out that integration within IWRM does not take a truly holistic view of natural resources. They argue that land resources are only included superficially within the framework, and there is need for better integration of land and water resources management. In addition, other natural resources which are critical for rural livelihoods, such as forest resources and biodiversity, appear not to be included in the framework [64]. Furthermore, issues of access to land and markets, and provision of infrastructure such as roads and telephone networks should also be integrated into water resources management and sediment.

IWRM involves many tools (Figure 1) and scenarios of water management, but no single blueprint of it fits every situation. Regardless of this reality, the practice of IWRM has a structure that can be expressed as a theory for how to apply it. The IWRM Thematic Group aims to support the water management and sediment in an efficient and structured way by setting up seven main priorities. These are as follows: (i) IWRM project management and communication, (ii) Growing network and Sharing Knowledge and experiences, (iii) Organize and participate in events and conferences, (iv) IWRM, nexus and Water Security Approach; research and publications, (v) Water governance, advocacy and participation in global processes, (vi) Capacity development and awareness raising, and (vii) Design and implementation of water management and sediment.



Figure 1. Thematic Group of IWRM project

Among the changes which the IWRM paradigm has brought to water resources management, and which has become the tenet of the management approach, is that of managing water resources along hydrological boundaries [98]. This appears to have been strongly influenced by the perception that water is an integral part of the ecosystem, and therefore it is logical that the resource be managed along its natural boundaries than the human-created administrative ones [97]. While this approach has been widely promoted as part of the IWRM framework, it is not entirely new as managing water along hydrological boundaries dates as far back as the 18th century [70]. In practice the management of water along hydrological boundaries has resulted in an institutional re-arrangement, for example, organisations managing water and stakeholder participation are now delineated along river basins rather than the traditional administrative boundaries. However, reality is that operating along hydrological boundaries ignores the administrative boundaries within which water users live, and within which socio-economic development is ordinarily planned for and implemented [97]

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 – April 2021

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

Climate Change Impact and Adaptation Strategies

Climate change will affect everyone. Changing temperature and precipitation regimes, sea-level rise, more-frequent extreme weather events, and coastal erosion will be experienced around the world. For analysing the effect of climate change, groundwater resources may be divided into four categories. The first category includes confined aquifers with upper impermeable layers. The recharge of such aquifers is encountered only where the water-bearing formations outcrop at the surface. Renewability of such aquifers depends on the availability of rains at their surface exposure. The second category includes phreatic (unconfined) aquifers in wet regions, where rainfall is high and evaporation is low. Since precipitation exceeds evaporation and evapotranspiration throughout the year, such aquifers are highly renewable and will not be affected under the expected geographical redistribution of rainfall. The third category encompasses unconfined aquifers in dry and arid regions, where there is a shifting annual balance between precipitation and evapotranspiration. Such regions may be subject to drier weather under the expected trend in global warming. Therefore, the available groundwater will be less on one hand and, because of the expected decrease in rainfall and increase in the population, the demand for groundwater will be more on the other. The fourth category includes coastal aquifers, which are generally subject to sea water intrusion [34].

Climate change is one of the significant threats for the society. Water is the primary medium through which climate change influences the Earth's ecosystems and therefore people's livelihoods and well-being. Changes in hydrological cycle due to climate change can lead to diverse impacts and risks [34]. Renewable surface water and groundwater resources in most dry subtropical regions are projected to reduce due to climate change. The fraction of global population that will be affected by water scarcity and riverine floods is projected to increase with the level of warming in current century. Agriculture is directly related to water and therefore, food security will be potentially affected by climate change, including food production, transportation, process, access, use and price stability. Climate change and the associated impacts on water are expected to lead to increases in water-related diseases in many regions and especially in the low-income developing countries. In urban areas, climate change is projected to increase risks for people, assets, economies and ecosystems, including risks from heat stress, storms and extreme precipitation, inland and coastal flooding, landslides, air pollution, drought, water scarcity, sea level rise and storm surges. Rural areas are expected to experience major impacts on water availability and supply, food security, infrastructure and agricultural incomes, including shifts in the production areas of food and non-food crops around the world. Beside climatic drivers, other non-climatic drivers such as current demographic trends, economic development and related land-use changes have direct impact on social and ecological systems and their processes.

Thomsen (1989) evaluated the effects of climate variability and change on groundwater in Europe in terms of the expected increase or decrease in groundwater recharge depending on the regional distribution of rainfall, which was evaluated by global circulation models (GCMs). A study in Australia by Sharma (1989) revealed that a ±20% change in rainfall would result in a ±30% change in recharge beneath grasslands, while beneath pine plantation the corresponding change in groundwater recharge was ±+80% [34]. The effect of climate change on sea water intrusion in coastal aquifers is very important. Under conditions of climate change, the sea water levels will rise for several reasons, including variations in atmospheric pressures, expansion of warmer occasions and seas and melting of ice sheets and glaciers. The rise in sea water levels will impose additional saline water heads at the sea side and therefore more sea water intrusion is anticipated. A 50 cm rise in the Mediterranean Sea level will cause additional intrusion of 10.0 km in the Korba aquifer. The same rise in water level in the Bay of Bengal will cause an additional intrusion of 0.4 km. Sea level will cause additional intrusion of 9.0 km in the Nile Delta aquifer [34]. The Korba aquifer is more endangered under the conditions of climate change and sea level rise. Additional pumping will cause serious environmental effects in the case of the Korba aquifer [34].

In order to deal with these complex problems, water management issues should generally consider multiple decisional criteria and large numbers of possible alternatives, usually characterized by high uncertainty, complex interactions and conflicting interests of multiple stakeholders, but also of a multiplicity of compartments, such as river, land or coastal ecosystems or different economic sectors. Therefore, the traditional fragmented approach of management has to be replaced by more holistic system view approaches. Integrated water resources management (IWRM) is such an approach that has been widely accepted internationally as the way forward for efficient and equitable management of water and related resources [34].

Climate change adaptation (CCA) is emerging in the policy agenda of policy-makers worldwide. In the field of water resources, one of the challenges for adaptation is to integrate and mainstream it into the paradigmatic IWRM concept. Integrating and mainstreaming adaptation with IWRM increases additional implementation burden on IWRM. However, this also fosters innovative governance arrangements and practices to build adaptive capacity to climate change impacts. Despite the main focus of IWRM is on current and historic issues compared to the long-term focus of adaptation share the same goal of promoting sustainable development and both of them require some identical key elements (e.g. public participation, information sharing and disclosure, and concern for social justice) for their successful implementation. lessons drawing and knowledge exchange on IWRM and CCA, in particular how they may contribute to, or undermine, each other. Moreover, the recent approval of Agenda 2030 by the United Nations (UN 2015) has provided a new framework in which IWRM and CCA are considered as components of the planetary efforts towards sustainable development and, in particular as elements contributing respectively to sustainable development goal (SDG) 6 and 13. Within goal 6 of SDGs, the target (6.5) is focused on the implementation of IWRM at all levels, including through transboundary cooperation as appropriate³, to be achieved by 2030 [34].

Page 93

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 – April 202

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

Global warming is very important phenomenon, the impact of which is being realized by everyone in recent years. It is adversely influencing urban and agricultural water supplies, flora, fauna and aquatic systems, increasing more risk and uncertainties in floods and more challenges to manage these events and water resources as well as provide timely protection against these uncertain events. Temperatures are abruptly changing. At some locations, temperature trends are towards more cooling whereas at other locations trends are towards more warming. Temperature trends are also shifting from location to location i.e., sometimes early cooling and sometimes early warming. Due to changing temperature trends, snowpack melting trends are also changing, resulting in change in extent, duration, and frequencies of flood as well as rise in sea water levels. All these events create more complicated problem of water resources management. In addition to this emission of different type of gases particularly carbon-di-oxide, methane, nitrous oxide, ozone, CFC and other halocarbons from decomposition of agricultural waste or livestock or non-agricultural waste is also a major source of environmental and water pollution. This is also one of the important issues and need to be addressed by joint efforts of concerned national and international organizations [341].

Climate change adaptation is a very complex phenomenon and challenging too. To date, significant effort has been invested in developing tools to assess the links between climate and hydrology. These tools offer insights into how large-scale patterns of runoff might change in the future. Adaptation decisions are not made based on assessments of naturalized runoff but are instead derived from assessments of how human interactions with hydrology produce positive or negative outcomes for the economies and ecosystems upon which human communities depend. These aspects need to be better captured in the available analytical tools. As the formulation phase of planning for water adaptation to climate change requires the use of a participatory and holistic process, efforts towards the adoption of the principles of IWRM should be encouraged. While IWRM does not explicitly integrate climate change considerations into the planning process, the underlying principles of good resource management can facilitate a process whereby information required for adaptation to climate change, including data and records, can be elicited from key actors. As the impacts of individual water management actions can accumulate within a particular water system, basin planning, even if it covers multiple political jurisdictions, should be encouraged as adaptation to climate change is identified and implemented. When planning adaptation across boundaries, riparian countries should focus on preventing adverse impacts, sharing benefits and risks in an equitable and reasonable manner and cooperating on the basis of equality and reciprocity. This will assist in avoiding actions that might be adaptive in one location and maladaptive elsewhere, potentially increasing the conflict over water management and allocation.

Research and implementation of the Integrated Water Resources Management and Climate Chang Projects

The actual permeation of IWRM in the legislative and institutional levels is very heterogeneous between nations. In Europe, the Water Framework Directive (WFD) from 2000 established a general framework for the protection of water resources, in particular to improve aquatic ecosystems and mitigate the effects of floods and droughts. In the southern countries, IWRM implantation is more heterogeneous. For example, Morocco included the principles in the Water Law of 1995, while in Tunisia, water management is still very concentrated into the central state. Integrated Modeling of Water Resource for Decision Support Systems (IMWR-DSSs), by using models and including information management capabilities and involving stakeholders, are generally implemented to simulate the functioning and possible evolution of hydrosystems (surface water, groundwater, reservoirs) under natural and socio-economic drivers, to help decision-makers and end-users in solving complex water resource management problems and selecting the best decisions. The DSSs are targeted according to the role they might play in IWRM processes [103].

IWRM is being promoted by many organizations, implemented in some areas and piloted in others. A huge effort involving the reform of water laws, institutions and capacity building is underway based upon the IWRM 'recipe'. However, in much of the world, it remains business as usual. IWRM is about integrated and 'joined-up' management. It is about promoting integration across sectors, applications, groups in society and time based upon an agreed set of principles. IWRM is a global movement driven by a perception of crisis, both current and future. The so-called global water crisis is underlain by a mixture of largely unavoidable development factors (population growth, increasing wealth and demand). However, it is increasingly realised that the heart of the water crisis is poor management or governance. With careful management and wise selection of priorities there is no reason that even in the driest parts of the world there should not be sufficient water to go around, and viable solutions exist to many of the problems faced. IWRM seeks to tackle some of the root causes of the management crisis, namely the inefficiencies and conflicts that arise from un-coordinated development and use of water resources.

The last few years of the 20th century witnessed an unprecedented level of international discourse involving the world's water users, managers and policy-makers. They engaged in intense consultative activities, reviewed the global water predicament and identified ways to secure regional water environments and the societies and economies which depend on them. The preparatory process produced numerous reports for the Second World Water Forum in the Hague in March 2000 [98, 39, 95].

During the consultations for the report-writing, attention was drawn to the fundamental political nature of the pre-Hague process. Water was a hydrological phenomenon rather than a multi-dimensional resource enmeshed in nested political economies. There was talk of civil society, governance and stakeholders, even of political commitment. But the discourse

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

ducked the challenge of recognizing that innovative outsider scientific information as well as outsider principles of economy, equity and the environment are subordinate to local political milieus into which they would have to be introduced.

IWRM comes out of an attempt to tackle and avert problems or crises. Its conceptual backbone is provided by a set of four core principles, agreed upon by the Dublin Ministerial Conference that preceded the first world summit on sustainable development in Rio de Janeiro in 1992. IWRM is therefore the water community's contribution to the sustainable development dialogue that has been running since Rio (and before).

While the principles have been further refined and added to during subsequent conferences of the water community in the 1990s and 2000s. The Global Water Partnership, the international 'custodian' of the IWRM concept. Three key concepts which in one form or another are present in all definitions of IWRM are: equity, efficiency and sustainability.

The basis of IWRM (Figure 2) is that the many different uses of finite water resources are interdependent.

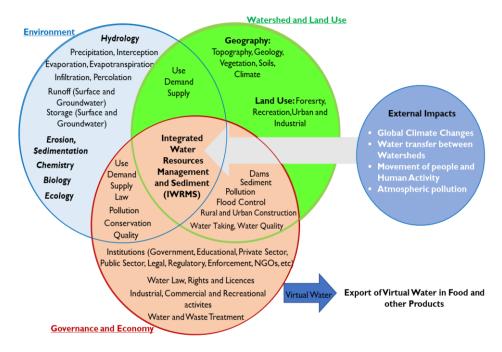


Figure 2. Elements of Integrated Water Resources Management

The diagram (Figure 2) is an attempt to show the factors that impact developing an IWRM plan in a watershed or drainage basin. The five main areas to be considered are:

- Environment: Hydrology, Chemistry, nutrients, Biology, Ecology and Erosion, sedimentation.
- Social concerns: Equity, Empowerment, Polarization, Marginalization and Poverty
- Economy: Traditional livelihoods, Industry, Modern agriculture, Forestry and Fisheries, Services, Tourism and Informal sectors
- Paricipation: Education, capacity buildinbg (Universities, administrations, Public awareness), Local actors (village surveys), Stakeholder links and Communication, workshops.
- Governance: Linking central government to local level, Links between sectors, International actors , NGOs, Legislation and conventions.

The dimensions of IWRM are considered in Water quantity, Water quality, Water demand, Climate change, Water governance, Public information and participation, Capacity Development, Decision support, Integrated land and water management and Pathways to sustainable water management.

A set up that fulfils the requirements of IWRM can be arranged in several ways. Basically, either all the institutions should cover all three aspects, or they should focus on their main mandates and responsibilities, and by cooperation ensure that all the other aspects are considered. In addition to the institutions themselves, the donors should take care that environmental, social and economic issues are equivalently considered in one way or another.

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 – April 2021

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

North Africa Case Study: Integrated Water Resources Management and Climate Change

The assessment of sediment yield has become increasingly important for water resources management by ensuring sustainable land management and securing stable water resources. In Maghreb (North Africa), which has only scarce water resources, most damage is associated with the loss of alluvial sediments from the catchment and subsequent dam siltation [68].

Sediment deposits in North African catchments contribute to around 2%–5% of the yearly loss in the water storage capacity of dams. As in most semi-arid and arid regions, which cover over 40% of the world's land surface, waterr esource management in the Middle East and North Africa is more complex than it is in humid zonesdue to the lack of perennial rivers and other readily available water sources [84]. This alone would lead to a 40% drop in per capita water availability in the region by 2050 [87].

The deposits of sediment in Maghreb contribute about 2%–5% of the yearly loss in the dams'water storage capacity. Sedimentation is a complex phenomenon that is widespread in the Mediterranean area, particularly in the North African countries, where it is seriously endangering reservoir management and water quality [18, 48, 96]. As a result, reservoirs' storage capacity is decreasing [80], possibly reaching 43% of their initial storage in 2030.

In Tunisia, rainfall exhibit high spatial and temporal variability, characteristic of the semi-arid and Mediterranean areas, which lead to a high variability of the river discharges. The water in Tunisia is limited and unevenly distributed in the different regions, especially in arid zones. Average annual rainfall ranges from less than 100 millimetres per year (mm/yr) in the south to 1,500 mm/yr in the north-west. Currently, the conventional potential of water resources of the country is estimated about 4.84 billion m³/year of which 2.7 billion cubic meters / year of surface water and 2.14 billion cubic meters / year of groundwater, characterizing a structural shortage for water safety in Tunisia (under 500 m3/capita/year). With over than 80% of water volumes have been mobilized for agriculture [34].

Many activities related to water resources management are the responsibility of the Ministry of Agriculture, Water Resources and Fisheries (MARHP) and the directorates/institutions under its authority. The MARHP is mainly responsible for public domain management, mobilization and development of water resources, water management projects and agricultural withdrawals as well as providing water resources for domestic and other uses. Through successive decades of water mobilization, Tunisia had acquired a relevant experience in the water resources management. The establishment of an institutional framework to the water policy dates back to 1971 with the institution of the water code. It represented the legal framework that will thereafter define the main milestones of the Tunisia water policy. An assessment of the available water resources allowed the institution of three-director water plan for the north, the center, and the southern country. While the north and the center water plan focused on the development of large dam's facilities and their networking and the multiplication of the collinear lakes in the center, the southern Tunisia observed a tremendous development of the underground resources' exploitation. This mobilization phase allowed satisfying the growing water demand without having to ration water even during periods of acute drought.

The first built dam is on the Mellegue river in 1954, which controls more than 40% of the whole Medjerda watershed, it induces a decrease in the flow coefficient. The sections of the river have also changed since the construction of the dam. Indeed, the water reservoir of the Mellegue dam traps sediments at a rate of 61% between 1954 and 1991. This explains the annual variation of the flow, the erosive effect of flows and thus the morphological changes of the bed of the river and meanders downstream the dams [16].

These large watersheds integrate the hydrological response to climate and environmental change over large spatial and temporal scales, but also changes in the physical environment due to anthropogenic causes, making it very difficult to identify the source of the impact of these changes on the variability of the hydrological regime. These results are part of a larger study of the impact of the reduction of high flows and sediment transports of the Medjerda basin to the gulf of Tunis, as dams trap much of the sediment transport, which now do not reach the sea. These results will help assess how the hydrological changes have impacted the coastal vulnerability, and risk for coastal infrastructures.

The Tunisian example focuses on the pollution mitigation of a lake classified at the UNESCO World Heritage. The emission of pollutants and sediments has been quantified from in situ analysis. The SWAT website lists more than 3500 references during the same period (https://www.card.iastate.edu/swat_articles). Only 6% (225) of the articles concern the Mediterranean area. SWAT is used much more in northern countries (61%) [103]. A hydrological model (SWAT) was used to simulate the transportation of the pollutants and sediments throughout the whole watershed into the lake [53, 73, 101, 65]. An analysis of sensibility was carried out and the model was calibrated. The impact of Best Management Practices (BMPs) was evaluated. The results are expected to raise awareness (with a very extreme scenario of fertilizer reduction) and to suggest possible options to improve the water quality of the lake [25, 83, 102, 47, 32, 2, 3, 63].

In Algeria, Water resources management is the magic key of the national water resources planning and strategy. As a result of social and environmental pressures, the overexploitation of groundwater as a result of population growth, industrial and agricultural emergent activities make the planning efficiency more complicated [75]. Algeria's rivers transporta large quantity of sediments. Algeria is expected to be negatively affected by impacts ranging from increased frequency and intensity of floods and droughts, worse water scarcity, intensified erosion and sedimentation, sea level rise, and damage to water quality and ecosystems. The sediment deposited in Algerian dams is estimated to be 20×106m3·yr-1 [51]. However, the dam capacity has reduced due to sediment transport and lack of surface runoff. Competition for water between agriculture, industry, and

Page 96

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 - April 2021

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

drinking watersupply—accentuated by a drought in Algeria—has shown the need for greater attention to be paid towater and for it to be managed at the large basin scale [21]. Surface water resources in Algeriaare evaluated to be approximately 8376 billion m3 for an average year. These water resourcesin Algeria are characterized by wide variability—the resources for the last nine years have beensignificantly below this average [44]. Several dams were built in Algeria to ensure waterresources for the supply of drinking water to all its cities and allowed approximately 12,350 km2 of irrigated land to be developed [14]. However, dam reservoirs lose about 20×106 to 30×106 m3 of water storage every year [15, 78]. Despite its semi-arid climate, the Tafna catchment plays an important role in water self-sufficiencyin northwest Algeria [13, 66]. The deposits of sediment in Maghreb contribute about 2% – 5% of the yearly loss in the dams'water storage capacity. In Algeria, the intercepted runoff in dams and weirs hold about 5.2 billion m³, which makes up 42% of total runoff [74]. The construction of dams has raised questions about their hydrological impacts on water resources at basin scale, especially where there are conflicts betweenupstream and downstream water users [6, 55].

Algeria has adopted a demand management strategy given the limited equilibrium between water needs and resources. In addition, this strategy consists of the adoption a new water management strategy based on progressive pricing, integrated and participative management by watersheds, education and awareness of water issues, and large-scale use of wastewater after treatment leaving enough initiative for encouraging water savings [67, 8].

In Morrocco, water resources are limited and irregular in time and space. The average rainfall is 140 billion cubic metres per year (BCM/yr), Evapotranspiration is high, amounting to 118 BCM/yr on average. The potential of natural water resources is estimated at 22 BCM/yr, the equivalent of 700 m3/capita/yr, comprising 18 BCM of surface water and 4 BCM of groundwater. The amount of water that is technically and economically exploitable is 80% of current available resources. This reveals the constraints on water resources and the challenges that lie ahead regarding the urgency of an integrated management approach [99, 88]. The elaborated hydraulic balance sheet shows that water deficit situation is already registered at some basins in Morocco [60]. The quality of superficial and groundwater resources are currently affected by: (i) pollution from rejected domestic and industrial wastewater, (ii) leakage of fertilizers and phytosanitary products and (iii) soils erosion and transport of sediments. To meet the challenges posed by the growing water scarcity, Morocco has adopted an integrated approach to water resources management through mutually reinforcing policy and institutional reforms. A new water law has been promulgated in 1995. It provides a comprehensive framework for integrated water management. This new law constitutes an efficient juridical tool to develop more considerable efforts for water use and mobilization in order to make them compatible with aspirations of socio-economic development of Morocco in the 21 centuries [76]. In 1995, the Moroccan government emphasized in its National Environmental Strategy that the priorities in term of environmental management would be on water, air, solid waste and soil-related issues [93]. In Morocco security of water supply has always been an important consideration in the economic and social development of the country. An integrated approach to water resources management is adopted through mutually reinforcing policy and institutional reforms as well as the development of a long-term investment program mobilizing innovative financing mechanisms including public-private-partnerships [9]. Morocco is divided into 9 major river basins (RBA), with long-term water resources development policies written down in Integrated Master Plans. On the whole, the achievements of Morocco to realize speciic objectives in integrated water resources management are considered satisfactory [82].

In the Moroccan example, there has been a rapid depletion of the groundwater table since the end of the 20th century [85, 62, 52]. The WEAP tool, [43] which provides a graphical approach to build a model of the system, facilitates the participation of many stakeholders into the building of the model, even if they have little scientific or technical knowledge [1]. The WEAP website lists more than 500 references (www.weap21.org), among which 16% correspond to the Mediterranean area for the period 2002–2018. Almost 60% of those references were published in peer-reviewed journals. The most common topics are the assessment of water resources (40%) and the impact of climate change (31%) [103]. The model building can be resumed in three phases (54]. At first, institutional representatives of the main sectors (agriculture, city, high-education, forest, etc.) were gathered in a workshop. The modeler acted as a guide for the stakeholders, focusing on questions such as what is important, what complexity is needed, what should be the time step regarding the goals, etc. After a sketch of the watershed functioning was accepted by the stakeholders, the second phase began. This typical technical process involved several bilateral interactions with the different stakeholders: data gathering, calibration and validation, etc. The running version of the model was discussed in a new workshop with stakeholders: conception issues were pinpointed, data and calibration issues were discussed, giving way to new technical rounds. The scenario phase was the last part of the process. In this case, the development of the scenarios took place separately. It appeared that the translation of those narrative scenarios to quantitative and spatialized scenarios would be difficult [61].

In Egypt. about 98% of Egypt's fresh water resources originate outside of its borders, such as the Nile River and groundwater aquifers. Indeed, the Nile River provides the country with some 93% of its water requirements. The Nile River supplies about 93% of Egypt's annual renewable water resources [7]. A share of 55.5 billion cubic metres per year (BCM/yr) is allocated to Egypt according to the Nile Water Agreement (1959). About 10 BCM/yr is lost through evaporation from the Aswan High Dam reservoir (Lake Nasser). Egypt has huge natural mineral water resources. However, most of them have not yet been significantly exploited. The total amount of deep groundwater has been estimated at about 40,000 BCM [27]. Egypt produces about 3.5 billion m³ /year of municipal wastewater, while current treatment capacity is in the range of 1.6 billion m³ /year [86].

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 - April 202'

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

The Nile River in Africa is the second largest river in the world, with a total river basin of 2.9 million km² and a length of 6 825 km. The Nile flows through nine countries: The Republic of Tanzania, Burundi, the Democratic Republic of the Congo, Rwanda, Kenya, Uganda, Ethiopia, Sudan and Egypt. It has 1 400 km in Egypt, where it empties into the Mediterranean Sea [31].

About 96 percent of the territory of Egypt is desert, with an annual precipitation of only a few centimetres. The population is concentrated along the Nile and the river delta. The annual runoff at the dam site is 84.0 billion m³, with a yearly fluctuation of 41.3 to 134 billion m³. If the yearly runoff is more than 130 to 140 billion m³, a food disaster occurs [29]. However, if it is less than 40 to 50 billion m³, it causes droughts. The annual sediment load is 316 million tons, with a sediment concentration of 3.764 g/l. Floods like the one in 1878, with a maximum daily runoff of 1.14 billion m³, and droughts like the one lasting nine years (1979 to 1988) can create disastrous situations for the Egyptian people [31, 33].

The construction of the Aswan High Dam (AHD) has provided Egypt with comprehensive benefits. The water discharge in a year ranged from 1 000 to 10 000 m³ s⁻¹ before the dam was constructed. After the dam was completed, the maximum water discharge was limited to 2 500 m³ s⁻¹ and the sediment concentration was reduced to between 0.03 and 0.1 g/l. Before the AHD, the river supplied 4 billion m³ and 48 billion m³ of water to Sudan and Egypt, respectively. The water benefit from reservoir regulation is 22 billion m³, shared by Egypt and Sudan according to the 1959 Nile Waters Agreement. The Delta (particularly along the Mediterranean coast) is also subsiding (and becoming less fertile), because it is no longer replenished each year by 100 million tons of flood sediments from the Nile. Instead, those sediments now drop out where the Nile enters the reservoir created by the AHD [58].

Egypt's agricultural production increased 20-fold from 1960 to 1987, and the wheat yield rose from 1.1 million tons in 1952 to 4.5 million tons in 1991. The AHD has also created other benefits for both Sudan and Egypt, such as power generation of about 10 billion kWh per year (53 per cent of the total electric power of Egypt in 1977), improvement in the navigation conditions upstream and downstream, development of tourism, and 10 000 tons of fish annually [50].

Egypt is approaching the point where water demands are exceeding supplies. This situation will necessitate improved decision making for water resources planning. Integrated management represents a unique approach, incorporating both temporal and spatial variations of the problem. To achieve an integrated procedure, efforts are being made to resolve numerous issues ranging from loss of agricultural lands to farmer involvement in the decision-making process. In spite of the powerful programme of population control, Egypt's population is still growing at nearly 2%. This increase, together with the consistent improvement in living standards, affects the use of water. It creates new aspects of demand, increasing the water requirements to levels that necessitate careful water resources planning. There is some potential for the Egyptian water balance to produce a surplus that fulfils the essential water needs of the vital development plans and projects. Although a considerable portion of the water which flows to the drainage system or groundwater shallow aquifers is reused, the fact that it is impossible to use the whole amount reduces the entire system efficiency. Better water distribution was achieved through the structure rehabilitation programme [30]. Erosion at the river mouth is found and the delta area is threatened because the reduced incoming sediment cannot fully supply the amount carried away by tidal flow. The coast line at the mouth of the Rosetta draws back about 150 m per year. Sand losses are in the order of 200 000 tons per year west of the Rosetta mouth and 400 000 tons per year west of the Damietta mouth. The aquifer beneath the northern reach of the delta 15 to 35 km inland from the sea has the same salinity as the sea [79].

In libya, there's no rivers, and its surface run-off is limited to short floods following extreme rainstorms in the winter. Estimation was done in 2008 for future consumption in Libya including agricultural, domestic and industrial uses during 2006 to 2020. The future evaluation of water utilization for all potential purposes specified the total water consumption rising from 6,293.89 million m3 in 2006 to 12,473.20 million m3 in 2020 with an average of compound annual rate of 4.97% [57]. In 2020, it is expected that the increase would be 98% of the water consumption in 2006. The main water sources in Libya come from four sources which are groundwater supplies almost 95% of Libya's needs; surface water only with 2% comprising rainwater and dam constructions; desalinated from sea water provides 2% and wastewater recycling 1% [49]. To control these intermittent resources in the wadis, 18 dams were constructed to collect around 61 million cubic metres (MCM) of run-off water. Natural springs in Jabal al-Akhdar, Jabal Nafusa and several places in central Libya are another source of surface run-off. Their discharge varies from 1 litre per second (L/s) to over 10 L/s, supplying different uses [37].

The current state of water institutional, infrastructure and water management policies in Libya permit the recognitions and evaluation of a range of options for improving water use capacity in agriculture and the potential role of water pricing in accomplishing sustainability of water sources [5]. The condition of water supply has turned into more problematic with quickly increasing population and minimum rainfall. Consequently, soon after the discovery of fresh groundwater in the deserts of southern Libya, the local authority has made massive efforts to address its water shortfall problems, fundamentally through the enforcement of The Great Manmade River Project to sustain its economy, however, it does not solve the water scarcity in Libya [99].

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 - April 202'

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

Libya based academies, universities, high institutes and Research Centers have launched initiative to reduce, reuse and recycle resources product and services (Institute Industry Interaction) for rebuilding the country to combat climate change impacts [4] induced by 2011 Libyan crisis. The country is engaged in preparing actions, accords, ideas and best practices to mitigate the impact of projected extreme events and weather by considering low carbon, resource efficient measures and enhanced use of renewable to tackle impending climate change [17].

CONCLUSIONS

Water's role in the nature is very fundamental. As it circulates in the atmosphere, in the rivers, lakes, soil, rock, and in the oceans, it is the major conveyer of various chemical substances and of energy, and it can also be called as the blood of the ecosystems of this planet. But at the same time water is interwoven in the various functions of the nature and the human of water. But it is only great if it is actually being implemented and improving matters. Concerned the discharges of watercourses, waste management, fishing, tourism and recreational use, off-road traffic, reindeer husbandry and air pollution, the IWRM plans cover the whole river basin in which each country is responsible for the plan relating to its own area.

While IWRM can seem complex, a theory of it and examples through common problem scenarios show its major attributes and uses. The theory explains how it involves three focal points of managing water, services, and infrastructure. Its major variables explain why there are so many dimensions to it; these dimensions can be represented mostly by scales and management functions in situations. The scenarios involve combinations of variables in contextual situations and range across issues such as policy planning, operations assessment, and conflict management. By identifying the scale and the management function, scenarios can be discussed across different contextual situations so that productive management practices and solution paths can be identified.

The IWRM concept addresses the long term prospects for water management in the world. The approach is designed to develop realistic projections of water availability and demands, and identify infrastructural and procedural development with the aim of meeting demand and optimising resource allocation.

The IWRM approach helps to manage and develop water resources in a sustainable and balanced way, taking account of social, economic, environmental interests. collecting hydrological and other data, land management, river restoration, preventing invasive vegetation and pollution, sediment management that must be done to keep the basin healthy.

References

- Amazirh, A., Merlin, O., Er-Raki, S., Gao, Q., Rivalland, V., and Malbeteau, Y. 2018. Retrieving surface soil moisture at high spatio-temporal resolution from a synergy between Sentinel-1 radar and Landsat thermal data: a study case over bare soil, Remote Sensing of Environment: 211, 321–337, https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.013.
- Aouissi, J., Chabaane, Z.L., Benabdallah, S., and Cudennec, C. 2015. Assessing the hydrological impacts of agricultural changes upstream of the Tunisian World Heritage sea-connected Ichkeul Lake, Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences (Online) 365, 61–65, https://doi.org/10.5194/piahs-365-61-2015.
- Aouissi, J., Benabdallah, S., Chabaane, Z.L., and Cudennec, C. 2014. Modeling water quality to improve agricultural practices and land management in a Tunisian catchment using the soil and water assessment tool, Journal of Environmental Quality: 43, 18, https://doi.org/10.2134/jeq2011.0375.
- Almabruk A.1995. Reflections on climate variability within selected monthly mean time series in Libya and neighboring countries, Geographia Polonica; 65: 51-62.
- Abdudayem, A., and Scott, A. H. 2014. Water infrastructure in Libya and the water situation in agriculture in the Jefara region of Libya. African Journal of Economic and Sustainable Development, 3, 33-64.
- Abouabdillah, A.; White, M.; Arnold, J.G.; De Girolamo, A.M.; Oueslati, O.; Maataoui, A. and Lo porto, A. 2014. Evaluation of soil and water conservation measures in a semi-arid river basin in Tunisia using SWAT. Soil Use and Management: 30, 539–549.
- Abu Zeid, M. 1992. Water resources assessment for Egypt. International Journal of Water Resources Development. 8(2).
- 8. Algerian Water Authority: Algerienne des Eaux (ADE). 2011.www.ade.dz
- Ait Kadi, M.A. and Ziyad A. 2018. Integrated Water Resources Management in Morocco. In Global Water Security: Lessons Learnt and Long-Term Implications. Author(s): World Water Council (eds.) Series: Water Resources Development and Management. Publisher: Springer Singapore, Year: 2018. ISBN: 978-981-10-7912-2, 978-981-10-7913-9
- Biswas, AK. 2008. Integrated water resources management: is it working? International Journal of Water Resources Development 24:5–22
- Biswas, AK. 2005. Integrated Water Resources Management: A Reassessment. In: Biswas, AK, Varis O, Tortajada C (eds) Integrated Water Resources Management in South and Southeast Asia. Oxford University Press, New Delhi, pp 319–336
- 12. Biswas AK. 2004. Integrated water resources management: a reassessment. Water International :29(2):248–256.

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 - April 2021

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

- Benyahia, M.; Bechlaghem, N.; Habi, M.; and Kerfouf, A. 2009. Importance des ressources hydriques de la wilaya de l'emcen dans le cadre de l'Oranie (Algérie Nord Occidentale) et Perspectives de développement durables. In Proceedings of the Vème Colloque International-Energie, Changement Climatiques et Développement Durable, Hammamet, Tunisia, 15–17 Juin 2009. (In French)
- Bouzid-Lagha, S., and Djelita, B. 2012. Study of eutrophication in the Hamman Boughrara Reservoir (Wilaya de Tlemcen, Algeria). Hydrological Sciences Journal: 57, 186–201.
- 15. Bessenasse, M.; Kettab, A.; Paquier, A.; Galeas, G.; and Ramez, P. 2003. Simulation numérique de la sédimentation dans les retenues de barrages: Cas de la retenue de Zardezas, Algérie. Journal of Water Science:16, 103–122. (In French)
- 16. Ben Mammou A. 1998. Barrages Nebeur, Sidi Salem, Sidi Saad et Sidi Boubaker. Quantification, étude sédimentologique et géotechniques des sédiments piégés. Apports des images satellitaires. Thèse de Doctorat ès-Sciences géologique, Université de Tunis II, Faculté des Sciences de Tunis, 345 p.
- 17. Bindra, SP. 2012. Libyan Rapid Response Task Force for Food Security 2012, Libya Academy, Tripoli.
- Bilotta, G., and Brazier, R. E. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. Water Research: 42(12), 2849-2861.
- Bogardi, JJ., Dudgeon, D., Lawford, R., Flinkerbusch, E., Meyn, A., Pahl-Wostl, C., Vielhauer, K., and Vörösmarty, Ch. 2012. Water security for a planet under pressure: interconnected challenges of a changing world call for sustainable solutions. Curr Opin Environ Sustain 4(1):35–43
- 20. Bogardi, JJ. 1990. Op weg naar integraal waterbeheer (On the road towards integrated water management). Inaugural lecture, published by Wageningen Agricultural University, 37 pp.
- Boithias, L.; Acuña, V.; Vergoñós, L.; Ziv, G.; Marcé, R.; and Sabater, S. 2014. Assessment of the water supply:demandratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives. Science Total Environment: 470–471, 567–577.
- Burton, J. 2003. Integrated water resources management on a basin level a training manual, UNESCO IHP & Editions Multi Mondes.
- Borchardt, D., Bogardi, J.J., Ibisch, R.B. 2016. Integrated Water Resources Management: Concept, Research and Implementation. Springer, Basel, Springer Cham Heidelberg New York, ISBN 978-3-319-25069-4 ISBN 978-3-319-25071-7 (eBook),781 pp.
- 24. Calder, I.R. 1999. The blue revolution: land use and integrated water resources management. London, UK, Earthscan.
- Casagranda, C., and Boudouresque, C.F. 2010. A first quantification of the overall biomass, from phytoplankton to birds, of a Mediterranean brackish lagoon: revisiting the ecosystem of Lake Ichkeul (Tunisia), Hydrobiologia: 637, 73–85, https://doi.org/10.1007/s10750-009-9986-3.
- Darghouth, S., Ward, C., Gambarelli, G., Styger, E., and Roux, J. 2008. Watershed Management Approaches, Policies, and Operations: Lessons for Scaling Up, World Bank.
- Deyle, R. E. 1995. Integrated Water Management Contending with Garbage Can Decision-making in Organized Anarchies. water resources bulletin:31(3) 387–398.
- 28. European Commission. 1998. Towards sustainable water resources management: a strategic approach. Brussels, Belgium, European Commission. Available at http://europa.eu.int/comm/development/body/publications/water/en/frontpage_en.htm
- Elarabawy, M., Attia, B. and Tosswell, P. 1998. Water resources in Egypt: strategies for the next century. Journal of Water Resources Planning and Management ASCE, 124(6).
- 30. Elarabawy, M., Attia, B. & Tosswell, P. 2000. Integrated water resources management for Egypt. Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA: 49, 3111—125.
- 31. Egyptian Committee on Large Dams. 1993. Aswan High Dam: A vital achievement fully controlled, Volume 11, Cairo.
- Fathalli, A., Ben Rejeb Jenhani, A., Moreira, C., Welker, M., Romdhane, M., and Antunes, A. 2011. Molecular and phylogenetic characterization of potentially toxic cyanobacteria in Tunisian freshwaters, Systematic and Applied Microbiology: 34;303–310, https://doi.org/10.1016/j.syapm.2010.12.003.
- Gaweesh, M.T.K., and Ahmed, A.F. 1995: Navigation difficulties under controlled flow conditions on the Nile River. The Hydraulics of Water Resources and their Development, HYDRA 2000, Twenty-sixth IAHR Congress, Volume 4 pp. 30-35.
- Gaaloul N. 2020. Seawater Intrusion into Coastal Aquifer and Climate Change: Impact of the coronavirus (covid-19) on the environment and water resources ISBN 978-613-9-57238-0. Editions Universitaires Européennes. ISBN: 978-613-9-57238-0, 229 pages.
- Gaaloul, N. and Eslamian, S. 2014. Artificial Recharge Experiences in Semiarid Areas, in Handbook of Engineering Hydrology, Ch. 2, Vol. 3: Environmental Hydrology and Water Management, Ed. By Eslamian, S., Taylor and Francis, CRC Group, USA, 17-49.
- Grantham, T., Figueroa, R., and Prat N. 2013. Water management in Mediterranean river basins: a comparison of management frameworks, physical impacts, and ecological responses. Hydrobiologia, 719: 451-482.
- 37. General Water Authority. 2014. Water and Energy for Life in Libya (WELL), Project funded by the European Commission No. 295143, FP7, Libya.
- Gupta, H.V., Sorooshian, S., and Yapo, P.O. 1999. Status of automatic calibration for hydrologic models: comparison
 with multilevel expert calibration. Journal of Hydrologic Engineering: 4, 135–143,
 https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135).

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 – April 2021

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

- Global Water Partnership (GWP). 2000. Towards Water Security: A Framework for Action. Technical Advisory Committee (TAC). Integrated Water Resources Management', TAC Background Paper No. 4. Stockholm: GWP.
- Global Water Partnership (GWP).2003. Technical Committee (TEC). 2003. Poverty Reduction and IWRM', TEC Background Paper No. 8. Stockholm: GWP (downloadable at http://www.gwpforum.org/servlet/PSP?iNodeID=215&itemId=203).
- 41. Global Water Partnership (GWP). 2004. 'Informal Stakeholder Baseline Survey. Current Status of National Efforts to Move Towards Sustainable Water Management Using An IWRM Approach', Version 1. April (downloadable at http://www.gwpforum.org/gwp/library/IWRMurvey.pdf
- 42. Görgens, A., Pegram, G., Uys, M., Grobicki, A., Loots, L., Tanner, A., and Bengu, R.1998. Guidelines for catchment management to achieve integrated water resources management in South Africa. Water Commission Research Report No. 108/98, Pretoria, South Africa 69 pp.
- 43. Hadded, R., Nouiri, I., Alshihabi, O., Maßmann, J., Huber, M., and Laghouane, A. 2013. A decision support system to manage the groundwater of the Zeuss Koutine aquifer using the WEAPMODFLOW framework. Water Resources Management: 27,1981–2000, https://doi.org/10.1007/s11269-013-0266-7.
- 44. Hamiche, A.; Boudghene Stambouli, A.; and Flazi, S. 2015. A review on the water and energy sectors in Algeria: Currentforecasts, scenario and sustainability issues. Renewable and Sustainable Energy Reviews: 41, 261–276.
- Hering, JG. and Ingold, KM. 2012. Water resources management: what should be integrated? Science 336(6086):1234

 1235.
- 46. Hofwegen, P.J.M. van and Jaspers, F.G.W. 1999. Analytical framework for integrated water resources management: guidelines for assessment of institutional frameworks. (IHE monograph). Delft, The Netherlands, IHE.
- 47. Irie, M., Kashiwagi, K., Ujiie, K., Nsiri, I., Bouguerra, S.; and Tarhouni, J. 2012. Feasibility of exploitation of the sediment in the reservoirs for the sustainability of surface water resource in Tunisia, Journal of Japan Society of Civil Engineers: 68, II_41–II_46, https://doi.org/10.2208/jscejer.68.II 41.
- Irie, M., Kawachi, A., Tarhouni, J., and Ghrabi, A. 2011. Development of sedimentation and characteristics of sediment on the reservoir in Tunisia. Annual Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering: 55: 163-168.
- 49. Jauda, R., Jouda, H., Marlia, M.H., Wan Zuhairi W. Y. 2017. Water resources management in Libya: challenges and future prospects. Malaysian Journal of Sustainable Agriculture: 1(2), 02-05.
- 50. Julien, P.Y. 1994: Erosion and Sedimentation. Cambridge University Press.
- 51. Kettab, A. 2011. Les ressources en eau en Algérie: Stratégies, enjeux et vision. vision [Water resources in Algeria: Stratégies, challenges and vision] Desalination: 136, 25–33.(In French).
- Kharrou, M.H., Le Page, M., Chehbouni, A.A., Simonneaux, V., Er-Raki, S., and Jarlan, L. 2013. Assessment of equity and adequacy of water delivery in irrigation systems using remote sensing-based indicators in semi-arid region, Morocco. Water Resources Management: 27,4697–4714, https://doi.org/10.1007/s11269-013-0438-5.
- 53. Krysanova, V., and White, M. 2015. Advances in water resources assessment with SWAT—an overview, Hydrological Sciences Journal: 1–13, https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1029482.
- Le Page, M., Toumi, J., Khabba, S., Hagolle, O., Tavernier, A., and Kharrou, M. 2014. A life-size and near real-time test of irrigation scheduling with a Sentinel-2 like time series (SPOT4-Take5) in Morocco, Remote Sensing: 6, 11182–11203, https://doi.org/10.3390/rs61111182.
- Le Goulven, P.; Leduc, C.; Bachta, M.S. and Poissin, J.C. 2009. Sharing scarce resources in a Mediterranean riverbasin:
 Wadi Merguellil in Central Tunisia. In River Basin Trajectories: Societies, Environments and Development; Molle, F.,
 Wester, P., Eds.; MPG Books Group: Bodmin, UK, pp. 147–170, ISBN-13: 978-1-84593-538.
- Loucks, D.P., van Beek, E., Stedinger, J.R., Dijkman, J.P.M., Villars, M.T. and Beek, E.V. 2005. Water Resources Systems Planning and Management and Applications: An Introduction to Methods, Models and Applications, vol. 51, UNESCO, 2005.
- 57. Lawgali, F. F. 2008. Forecasting water demand for agricultural, industrial and domestic use in Libya. International Review of Business Research Papers, 4, 231-248.
- 58. Mamadou, L. B., Zakaria, D.S., and Allaramadji, B.B.2018. Integrated Water Resource Management Policy in Africa: Case Study of the Nile Water and Its Politics. Journal of Geology and Geoscience: 2(2): 1-10.
- 59. Martínez-Santos, P., Aldaya, MM., Ramón Llamas, M. 2014. Integrated water resources management: state of the art and the way forward. In: Martínez-Santos P, Aldaya MM, Ramón Llamas M (eds) Integrated Water Resources Management in the 21st Century: Revisiting the paradigm. CRC Press/Balkema, EH Leiden, The Netherlands, pp 17–36
- 60. Mandi, L. 2002. In Applied research in water quality intended for drinking water supply in Morocco. Workshop on Integrated Management of water limited resources. Marrakech, May.
- Marchane, A., Tramblay, Y., Hanich, L., Ruelland, D., and Tramblay, Y. 2017. Climate change impacts on surface water resources in the Rheraya catchment (High Atlas, Morocco), Hydrological Sciences Journal :1–17, https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1283042.
- Merlin, O., Malb_eteau, Y., Notfi, Y., Bacon, S., Khabba, S., and Jarlan, L. 2015. Performance metrics for soil moisture downscaling methods: application to dispatch data in central Morocco, Remote Sensing: 7, 3783–3807, https://doi.org/10.3390/rs70403783.
- Mtibaa, S., Hotta, N., and Irie, M. 2018. Analysis of the efficacy and cost-effectiveness of best management practices for controlling sediment yield: a case study of the Journine watershed, Tunisia, Science of the Total Environment: 616– 617, 1–16, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.290.

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

- Merrey, D. J., Drechsel, P., Penning de Vries, P., and H. Sally. 2005. Integrating 'Livelihoods' into Integrated Water Resources Management: Taking the Integration Paradigm to its Logical Next Step for Developing Countries. Regional and Environmental Change: 5,197-204.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W.; Bingner, R.L., Harmel, R.D., and Veith, T.L. 2007. Model evaluation 65. guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers:50, 885-900, https://doi.org/10.13031/2013.23153.
- Ministry of Water Resources of Algeria. 2017. Surface Water Resources Mobilization; Document of Algerian. Available 66. online: http://www.mree.gov.dz
- 67. Ministry of Water Resources of Algeria . 2011. http://www.mre.gov.dz/
- Megnounif, A.; Terfous, A.; and Ouillon, S. A. 2013. graphical method to study suspended sediment dynamics duringflood events in the Wadi Sebdou, NW Algeria (1973-2004). Journal of Hydrology, 497, 24-36
- 69. Mohile, A.D. 2005. Integration in bits and parts: a case study of India. In: Biswas AK, Varis O, Tortajada C (eds) Integrated Water Resources Management in South and Southeast Asia, Oxford University Press, New Delhi, pp 39-66.
- 70. Molle, F. 2009. River basin planning and management: the social life of a concept. Geoforum: 40. 484-494
- 71. Molle, F. 2008. Nirvana concepts, narratives and policy models: insights from the water sector. Water Alternatives 1(1):131-156
- 72. Neil, S. Grigg. 2016. Integrated Water Resource Management An Interdisciplinary Approach. Publisher: Palgrave Macmillan UK, Year: 2016.ISBN: 978-1-137-57614-9, 978-1-137-57615-6.
- Ouyang, W., Hao, X., Wang, L., Xu, Y., Tysklind, M., and Gao, X. 2019. Watershed diffuse pollution dynamics and response to land development assessment with riverine sediments, Science of the Total Environment: 659, 283-292, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.367.
- Ounissi, M.; and Bouchareb, N. 2013. Nutrient distribution and fluxes from three Mediterranean coastal rivers (NE Algeria) under large damming. Comptes rendus Geoscience:345, 81-92.
- Rahmani, A.SE., Bouderbala, A., and Chibane, B. 2020. Overview of Water Resources in Steppe. In Water Resources in Algeria - Part II: Water Quality, Treatment, Protection and Development, The Handbook of Environmental Chemistry book series (HEC, volume 98), pp 241-252.
- Rafik, M. 2002 in Applied research in water quality intended for drinking water supply in Morocco. Workshop on Integrated Management of water limited resources. Marrakech, May.
- Rijkswaterstaat (Ministerie van Verkeer en Waterstaat). 1989. Derde Nota Waterhuishouding. Water voor nu et later (in Dutch), SDU Uitgeverij, #s Gravenhage
- Remini, B.; Avenard, J.-M.; and Kettab, A. 1997. Évolution dans le temps de l'envasement dans une retenue de barrage 78. dans laquelle est pratiquée la technique du soutirage. La Houille Blanche : 6, 4-8. (In French)
- 79. Rushdi, S. 1993: The River Nile: Geology, Hydrology and Utilization. Pergamon Press.
- Raclot, D., Albergel, J. 2006. Runoff and water erosion modelling using WEPP on a Mediterranean cultivated catchment. 80. Physics and Chemistry of the Earth: 31. 1038–1047.
- 81. Schindler, E.U., Sebastian, D., Andrusak, H., Vidmanic, L., Harris, S., Andrusak, G.F., Pick, F., Ley, L.M., Hamilton, P. B., Johner, D., Woodruff, P., Bassett, M., and Ashley, K.I. 2010. Kootenay Lake Nutrient Restoration Program (Year 16 (North Arm) & year 4 (South Arm). Environment Stewardship & Fish & Wildlife Program, B.C. Ministry of Environment Report, http://www.sgrc.selkirk.ca/bioatlas/pdf/KL Nutrient Restoration Year 16 North Year 4 South.pdf
- Saleth, R. M., and Dinar, A. 2000. Institutional changes in global water sector: trends, patterns, and implications. Water Policy: 2, 3, 175-199
- 83. Shaiek, M. Romdhane, MS., and Le Loc'h, F. 2015. Study of the ichthyofauna diet in the Ichkeul Lake (Tunisia), Cybium https://doi.org/10.26028/cybium/2015-393-003.
- Souza, J.O.P.; Correa, A.C.B.; and Brierley, G.J. 2016. An approach to assess the impact of landscape connectivity andeffective catchment area upon bedload sediment flux in Saco CreekWatershed, Semiarid Brazil.Catena.138, 13-29.
- Simonneaux, V., Duchemin, B., Helson, D., Er-Raki, S., Olioso, A., and Chehbouni, A.G. 2008. The use of highresolution image time series for crop classification and evapotranspiration estimate over an irrigated area in central Morocco. International Journal of Remote Sensing: 29, 95–116, https://doi.org/10.1080/01431160701250390
- 86. Tawfic, M.A. and El Gamal; H. 2008. Wastewater, challenges and opportunities: an Egyptian perspective. Presentation INNOVA MED workshop Agadir, Morocco, April 2008. http://www.iavcha.ac.ma/galerie/ file/choukrallah/pdf/29/s1/02.pdf
- Terink, W.; Immerzeel, W.; and Droogers, P. 2013. Climate change projections of precipitation and reference evapotranspiration for the Middle East and Northern Africa until 2050. International. Journal. Climatologie.33, 3055-3072.
- Tortajada, C. 2003. Professional Women and Water management: Case study from Morocco. IWRA, Water International:28, 4, 532-539.
- 89. United Nations. 2008. UN-Water. Status Report on IWRM and Water Efficiency Plans for CDS16.
- United Nations. 2002 Plan of implementation of the world summit on sustainable development.. http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/WSSD_PlanImpl.pdf
- 91. United Nations. 1993. UN-Division of Sustainable Development. Agenda 21.
- World Bank, 2000. World Development Report 2000/2001. Attacking Poverty." Washington, D.C.: The World Bank. 92.

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 – April 2021

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 89-103

- 93. World Bank, 1995. "Middle East and North Africa. Environment Strategy, Towards Sustainable Development, Middle East and North Africa Region." Report N°. 1360.1-MNA. Washington, D.C.: The World Bank.
- 94. World Water Commission (WWC). 2000. 'A Report of the World Commission on Water for the 21st Century', Water International, Vol. 25: 2, June, pp. 194–201.
- World Water Council. 2000. 'Making Water Everybody's Business', Report for the Second World Water Forum in The Hague, March 2000. Marseilles: World Water Council.
- 96. Walling, D.E. 2009. The Impact of Global Change on Erosion and Sediment Transport by Rivers: Current Progress and Future Challenges. Paris. France.
- 97. Warner, J., Wester, P., and Bolding, A. 2008. Going with the flow: river basins as natural units for water management? Water Policy 10 Supplement 2. 121-138.
- 98. Wegerich, K. 2009. Shifting to hydrological boundaries-the politics of implementation in the lower Amu Darya basin. Physics and Chemistry of the Earth: 34. 279-288.
- 99. Wheida, E., and Verhoeven, R. 2007. An alternative solution of the water shortage problem in Libya. Water Resources Management, 21, 961-982.
- Wang, G., Mang, S., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., and Wang, L. 2016. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends, Journal of Forestry Research: 27, 967–994, https://doi.org/10.1007/s11676-016-016-0293-3.
- 101. Williams, J.R. 1975. Sediment routing for agricultural watersheds. Journal of the American Water Resources Association: 11, 965–974, https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1975.tb01817.x.
- Yazidi, A., Saidi, S.; Ben Mbarek, N., and Darragi, F. 2017. Contribution of GIS to evaluate surface water pollution by heavy metals: Case of Ichkeul Lake (Northern Tunisia), Journal of African Earth Sciences:134, 166–173, https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.06.009.
- Zribi, M., Brocca, L., Tramblay, Y., and Molle, F., 2020. Water resources in the Mediterranean region. ISBN: 978-0-12-818086-0. Elsevier. 343 pages.

_Page 103

Walid Ben Khelifa and Sameh Chargui
Drought impact on rainfall and water storage in Tunisian semi-arid context
International Journal Water Sciences and Environment Technologies
Vol. (vi), Issue. 1, April 2021, pp. 104-113
ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access
nnn. jiste.org



Drought impact on rainfall and water storage in Tunisian semi-arid context

Walid Ben Khelifa¹, Sameh Chargui²

¹National Institute of Research in Rural Engineering of Water and Forestry, IRESA, University of Carthage, Tunisia

² Georesources Laboratory, Water Research and Technology Centre, Borj Cedria Ecopark, PO Box 273 Soliman 8020. Tunisia

Abstract

Scientific Press International Limited

Despite the great progress made to strengthen resilience to drought, Tunisia still faces many challenges in developing effective monitoring of this phenomenon. So, during the last decade, the impact of climate change and the overuse of water caused a significant reduction in the capacity of some dams, such as the Rmel dam semi-arid Tunisia.

So, the targeted goal is to assess the drought impact on rainfall and water storage using a climatolic and hydrologic index, as defined by the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Standardized Runoff Indices (SRI). These indices were computed on annual and 3-months time scales in Rmel watershed covering an area of 675 Km2 and having dam targeting agricultural use.

Results showed that an acceptable correlation exists between SPI, as a climatological index, and SRI, as a hydrologic drought index. Analyses revealed that the basin suffered from a succession of dry years especially in the last decade, accompanied by sever and moderate years.

Key Words: SPI, SRI, Rmel watershed, Tunisian semi-arid region, drought

Impact de la sécheresse sur les précipitations et le stockage de l'eau dans le contexte semi-aride Tunisien

Résumé

Malgré les grands progrès accomplis pour renforcer la résilience à la sécheresse, la Tunisie est encore confrontée à de nombreux défis pour développer une surveillance efficace de ce phénomène. Ainsi, au cours de la dernière décennie, l'impact du changement climatique et la surexploitation des ressources en eau ont entraîné une réduction significative de la capacité de certains barrages, comme ceux existant dans la région semi-aride (Barrage Rmel).

Ainsi, l'objectif visé est d'évaluer l'impact de la sécheresse sur les précipitations et le stockage de l'eau à l'aide de deux indices climatolique et hydrologique, tel que défini par l'indice de précipitation normalisé (SPI) et l'indice de ruissellement normalisé (SRI). Ces indices ont été calculés sur des échelles de temps annuelles et de 3 mois dans le bassin versant du Rmel couvrant une superficie de 675 km2 et ayant un barrage destiné à l'utilisation agricole.

Les résultats ont montré qu'il existe une corrélation acceptable entre le SPI, en tant qu'indice climatologique, et le SRI, en tant qu'indice de sécheresse hydrologique. Les analyses ont révélé que la zone d'étude a souffert d'une succession d'années sèches, en particulier au cours de la dernière décennie, accompagnée par des années à sécheresse sevères (2017/2018) et modérées.

Mots clés: SPI, SRI, Bassin versant Rmel, Région semi-aride Tunisienne, Sécheresse

_

¹ Corresponding author: benkhelifa_walid@yahoo.fr

Ben Khelifa and Chargui / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 104-113

Introduction

Water is fundamental for life and livelihoods. It's the key for a sustainable development [6]. Our planet contains only 2.5% of freshwater. This limited resource will be further threatened with population growth. In 2017, world's population is numbered nearly 7.6 billion and would be continues to grow to become 9.7 billion in 2050 [18]. [21] reported that by 2030, water demands will be increased until the world faces a 40% water deficit caused by the reduction of water storage in dams and depletion of runoff in rivers. In addition, 20% of the world's aquifers are overexploited [5], with serious consequences such as lowering of the piezometric level in the water table and the intrusion of marine water. But, the water insecurity can be exacerbated by drought [5] which is being one of the most extreme water-related natural hazards that result from lower amounts of precipitations [19]. The United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) has defined drought as a naturally occurring phenomenon that exists when precipitation is significantly below normal recorded levels, causing serious hydrological imbalances that adversely affect land resource production systems. Also, droughts are generally classified as meteorological, agricultural, hydrological and socio-economic concepts ([19,20].

Extreme drought conditions affected at least 3 % of the global land area, but the severe drought represents about 11 % [14]. In the Mediterranean areas the frequency and intensity of drought have likely increased [8]. In Tunisia, during the last decades, the drought has been exacerbated by the magnitude of the rainfall deficit [1]. This has resulted in a significant decline in the dam's capacities; some of them have become dry. Several methods and indices have been developed to monitor and quantify drought intensity and impacts. These methods are based on climatic and hydrological variables, such as precipitation [13,11,4], runoff [15] and evapotranspiration condition [9].

In this study, we tried to use the Standardized Precipitation Index (SPI) as a widely used index to characterize meteorological drought on a range of timescales [7,9], and the Standardized Runoff Index (SRI), based on basin discharge. It's used to assess the hydrological drought index. The purpose is to provide quantitative information on meteorological and hydrological drought for North African semi-arid climatic conditions. Knowledge of the SPI and SRI index may be very useful to well monitoring the hydrological behavior of Tunisian semi-arid region and to facilitate the water resources management against the future climate change.

Materials and methods

Study area

The Rmel watershed is located in the north-eastern of Tunisia, between 36° 32.0.9' and 36° 14.20' Latitude North and between 10° 13.47' and 10° 13.47' Longitude East. It has a highly irregular terrain ranging from 20 to 1235 m.a.sl m. (Figure 1). The watershed covers an area of 675 km2 and drains into the Rmel dam, which has been built in 1998 [1]. It provides a transition between different regions: northern Tunisian ridge, the Sahel and the Cap Bon. It should be noted that the Rmel dam was built with the aim of promoting and intensifying irrigated area in the downstream. From 2004, an irrigated perimeter, extending over an area of 4952 ha [12], has been created in order to enhance the downstream area. This perimeter has benefited 1178 farms.

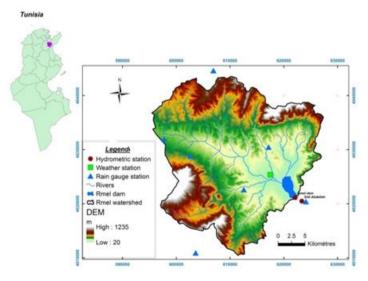


Fig 1 Location of Rmel watershed and the hydro-climatic stations

Ben Khelifa and Chargui / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 104-113

The average temperature of the studied area is about 19°C. Temperature peaksare recorded during July and August months with more than 35°C. Minimum values are observed during the months of January and February with 7°C.

Concerning observed annual evaporation in the Rmel dam, during the period from 1999 to 2019, the average value is about 1710 mm.

Data

Rainfall data used in this study were provided by the General Direction of Water Resources, Ministry of Agriculture in Tunisia (DGRE).

So, to characterize the rainfall regime in the Rmel watershed, we selected seven raingauges (Table 1), which will be used to assess the rainfall regime in the Rmel basin. Data are provided during the period from 1980/81 to 2018/19 and well selected based on their availability and quality.

Table 1 List of selected rainfall stations									
STATION	X (m)	Y (m)	Elevation (m)						
Bouchlaka	606912	4044638	235						
Mograne	597730	4031956	155						
Oued Ezzit	617176	4030502	100						
Saouaf Agricole	603609	4010944	170						
Sidi Abdallah	624120	4020428	32						
Zaghouan PF	602599	4028807	230						
Zeriba	612570	4022644	110						

The homogeneity of rainfall data for all stations in Rmel watershed was checked using double-mass curve method [2]. Mograne raingauge has been selected as a reference station in the study area. This choice is based on the consistency of its data and the long-term of recorded rainfall. Results of this method revealed that the rainfall data records were found to be consistent in all stations.

Methods

Monthly rainfall and runoff data in Rmel watershed were used in this study to perform the drought analysis. It would help the monitoring of hydrological drought and its impact on water storage in the dam, considering that the stored waters are used to promote irrigated agriculture.

So, the SPI and SRI drought index calculation, based on the long-term precipitation and runoff record (39 years), at monthly scale, was done through Gamma distribution function [17]. The gamma distribution is defined by its frequency or probability density function:

$$f_{\gamma}(x/\alpha,\beta) = x^{\alpha-1} \cdot \frac{1}{\beta^{\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)} e^{\frac{-x}{\beta}}; x \ge 0; \alpha, \beta > 0$$
(1)

Where $\alpha_{>0}$ is the shape parameter; $\beta_{>0}$ is a scale parameter; $x_{>0}$ is the precipitation amount; $\Gamma(\alpha)_{\text{defines gamma}}$

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

Computation of the SPI involves fitting a gamma probability density function to a given frequency distribution of precipitation total for a station. From [17], the maximum likelihood solutions are used to optimally estimate α and β .

$$\widehat{\alpha} = \frac{1}{4A} (1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}) \tag{3}$$

Ben Khelifa and Chargui / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 104-113

Where, for n observation

$$A = \ln(\bar{x} - \frac{\sum \ln(x)}{n}) \tag{4}$$

$$\bar{\beta} = \frac{\bar{x}}{\bar{\alpha}} \tag{5}$$

The resulting parameters are then used to find the cumulative probability of an observed precipitation event for the given month and time scale for the station in concern. The cumulative probability is given by:

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^{\alpha}\tau(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx^{(6)}$$

$$t = \frac{x}{\widehat{\beta}} \tag{7}$$

$$G(x) = \frac{1}{\tau(\bar{\alpha})} \int_{0}^{x} t^{\bar{\alpha}-1} e^{-t} dx \quad ^{(8)}$$

Since Since gamma function is undefined for x=0 and precipitation distribution may contain zero, cumulative probability becomes:

$$H(x) = q + (1-q)G(x)$$
 (9)

Where q is the probability of zero precipitation

The gamma distribution becomes undefined, for X = 0 and q = p(x = 0) (probability of zero precipitation is simply the number of observations of zero precipitation divided by the total number of observations).

To convert cumulative probability to the standard normal random variable Z as used by [4]:

$$Z = SPI = -\left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_2 t^3}\right]$$
(10)

For
$$0 < H(x) \le 0.5$$

$$Z = SPI = \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_2 t^3}\right]$$
 (11)

For
$$0.5 < H(x) \le 1$$

Where,
$$t = \sqrt{\ln(\frac{1}{(H(x))^2})} \quad 0 < H(x) \le 0.5 \quad (12)$$

$$t = \sqrt{\ln(\frac{1}{(1 - H(x))^2})} \quad (13)$$

for $0.5 < H(x) \le 1$

C0 = 2.515517, C1 = 0.802853, C2 = 0.010328, d1 = 1.432788, d2 = 0.189269 and d3 = 0.001308.

The Standardized Precipitation Index (SPI-n) is a statistical indicator comparing the total precipitation received during a period of n months with the long-term rainfall distribution, for the same time-period. SPI is calculated on a monthly basis for a moving window of n months, where n indicates the rainfall accumulation period, which is typically of 1, 3, 6, 9, 12, 24 and 48 months. The Standardized Runoff Index is developed to assess hydrological drought considering stream flow data (Shukla and Wood 2008). The SRI is based on river runoff and its calculation procedure is similar to SPI index. The gamma distribution is also used, here, to fit the river runoff data. The SRI and SPI are similarly calculated. While the SPI for medium accumulation periods (3 and 12 months) can be used as an indicator for reduced stream flow and reservoir storage, we decide to calculate this index for two time-scales, i.e. 3 months (SPI-3) and 12 months (SPI-12) for each raingauge station and for average monthly rainfall. The SPI-3 was used to assess drought during mid-spring season (Februray-April), which is a reference period to judge agricultural yield. For SPI-12, it was used to assess the hydrological drought. The same approach was highlighted for the SRI drought index.

Calculated SPI and SRI will be compared with the classification values of dryness and wetness category to conclude about the drought in the study area. The status of hydrological droughts according to SPI values are defined in Table 2 [4].

State	Drought Class	Standardized PrecipitationIndex
1	Extremely wet	SPI > 2
2	Severely wet	1.5 to 1.99
3	Moderately wet	1.00 to 1.49
4	Near normal	0.99 to -0.99
5	Moderately dry	-1.00 to -1.49
6	Severely dry	-1.50 to -1.99
7	Extremely dry	<-20

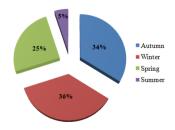
Table 2. Dryness/wetness categories according to SPI values [4]

In order to assess the extent of the space-time drought in the Rmel basin, it is necessary to compute SPI drought indices for the watershed using a Thiessen polygon method [16] to determine the average rainfall for each year and each month which lead to calculate SPI-3 months and SPI-12 months. This approach led to compare the relation between SPI and SRI drought indices.

Results and discussion

Rainfall variability

The hydrological year begin from September, it's characterized by intense events and finish in august. At the seasonal scale, winter and autumn, represent the wet period. They present 70% of the total annual rainfall. However, the summer season is characterized by a low rainfall amounts with 5% (Fig. 2).



Page 108

Fig. 2 Seasonal distribution of rainfall

The spatial variability of rainfall highlights an irregular distribution of rainfall in the Rmel watershed. It varies from the upstream to the downstream. In fact, this distribution shows that the Northeastern part (basin upstream) is the most watered area (450 to 490mm), whereas when going down to the South (basin downstream) rainfall knows a noticeable decrease (Fig.

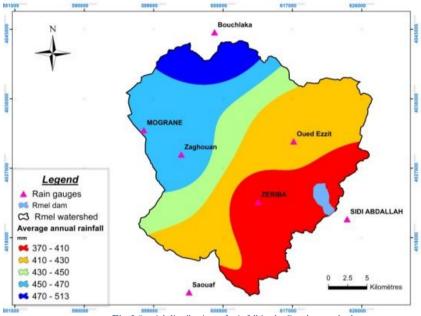


Fig 3 Spatial distribution of rainfall in the Rmel watershed

Some of the typical rainfall characteristics such as the average, minimum, maximum and the coefficient of variation at each of studied meteorological stations are given in Table 3. It should be noted that the study area is characterized by an average rainfall varying from 372.4 mm, in Sidi Abdallah raingauge, to 514.5 mm in Bouchlaka raingauge. The coefficient of variation fluctuates from 29 % (Oued Ezzit raingauge) to 36% (Bouchlaka, Souaf and Zaghouan raingauges) showing an irregular rainfall over time.

Table 3: Statistical characteristics of annual rainfall

Table 5. Statistical characteristics of ainitial faintain					
Raingauge	Mean (mm)	Min.	Max.	STD	CV
Bouchlaka	514.5	203	930	185	36%
Mograne	469.4	255	811	153	33%
Oued Ezzit	407.3	184	750	121	29%
Souaf	407.8	193	871	146	36%
Sidi Abdallaha	372.4	193	758	131	35%
Zaghouan	455.0	220	861	167	36%
Zeriba	390.4	211	750	124	31%

Runoff characteristics

In term of runoff contribution, the Rmel reach was monitored by a hydrometric station during the period 1980/81-1997/98. Since 1999, Rmel dam was built and the runoff was monitored by another station implemented in the dam during the period from 1999/00 to 2018/19. The location of the hydrometric stations was shown in Fig. 1.

The observation period [1980/81-2018/2019] shows low to medium runoff values (Fig. 4), except, for 1995/96, this year was distinguished as a very wet year in Tunisia ([3].

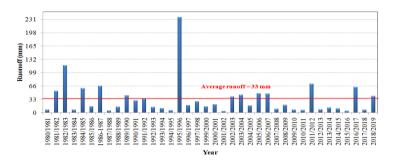


Fig 4 Annual runoff in Rmel watershed from 1980 to 2019

About monthly values (Figure 6), the low runoff values occur in general in June, July, and August. Maximum runoff was observed respectively in February, September, November, and December.

Drought characterization

• Drought at annual scale (SPI-12)

The assessment of calculated SRI -12 and SPI -12, over the 39 past years, in the Rmel watershed shows a fluctuation of dry and wet period (Fig. 5). Some dates appear as a severe drought when the SRI and SPI values are upper to (-1.5). This is the case of 1987/88, 2001/02, and 2017/18 years.

Also, three years present a moderate dry (1980/81, 1994/95 and 2015/16), there SPI and SRI values are between (-1) and (-1.49).

About wet year, we notice that most of values are lower than 1. They indicate a normal period. Except the year of 1995/96, it is an extremely wet year. Its SRI is above 2.5 and its SPI is upper to 1.5.

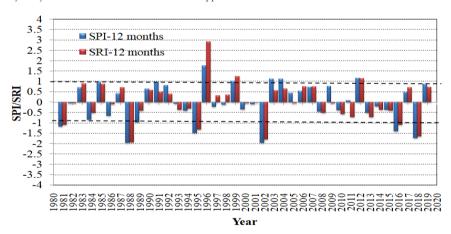


Fig 5 Annual distribution of SPIand SRI drought indices

Fig. 6 illustrates for all studied stations, that the drought categories (Near normal) represent 60 to 70% (23 to 27 years) of the assessed period. The wet period for all station represents about 16%. However, the dry period represents 84% if we consider the near normal as drought (Fig.6).

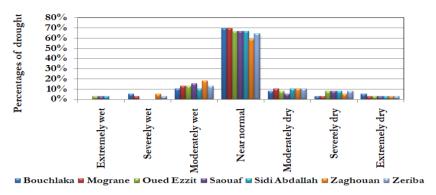


Fig 6 classification of SPI values on annual scale

The previous results were proven by the Fig.7, which shows the SPI-12 deduced from rainfall representing the watershed.

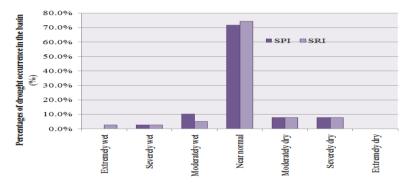


Fig. 7 The percentage of drought occurrences in SRI and SPI indices

• Drought at 3 months scale

The 3-month SPI values compare the precipitation over a specific 3-month (in our case we have chosen February, March and April months) with precipitation totals from the same three-month period. The SPI-3 can reflect short- and medium-term moisture conditions and provides an assessment of seasonal precipitation.

Fig. 9 indicates the 3-months indices for the reference period Feb-April.

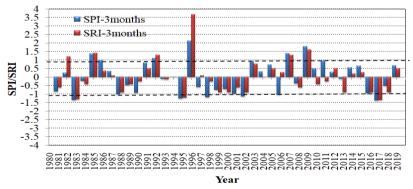


Fig. 8 Distribution of SPIand SRI drought indices on 3 months scale

As shown, SRI revealed that only three years were considered as moderately drought (1982/83, 1994/95 and 2015/16). But two dry periods can be marked. The first is from 1996/97 to 2002/03. The second begin in 2015/16 and finish in 2017/18. During the last two decades, the SRI proves a deficit in the runoff. So, from February to April, the dam should be filled to satisfy agricultural needs in summer.

Correlation between SPI and SRI

To investigate the relationship between the meteorological and hydrological drought, we have calculated the correlation coefficients of Pearson for the SPI and SRI indices. This coefficient is based on 3 and 12-month time scale (Table 4). On annual and 3 months scales, most SPIs stations revealed a significant relation with SRIs. Except Bouchlaka raingauge, it showed a correlation coefficient lower than 0.6. This is can be explained by its location, in the northern upper part of the study area.

Table 4. Correlation coefficient between SPI and SRI on 3 and 12-months' time scale

Station	12-month	3-month (Feb-April)
Bouchlaka	0.57	0.56
Mograne	0.68	0.71
Oued Ezzit	0.74	0.74
Saouaf	0.72	0.64
Sidi Abdallah	0.72	0.71
Zaghouan	0.68	0.73
Zeriba	0.73	0.72

Based on 3-months and annual time scale, for the studied period (1980/81 to 2018/19), the SPI and SRI for Rmel watershed illustrated a correlation coefficient of 0.75. They show and confirm a significant relationship between these drought indices (Fig 9 and Fig.10).

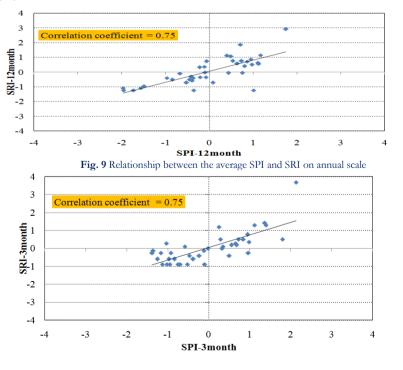


Fig. 10 Relationship between the average SPI and SRI on 3 months scale

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 – April 2021

Ben Khelifa and Chargui / JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 104-113

Conclusion

Being a watershed of 675km2, the drought can be well characterized by a good spatially distributed five raingauges. Investigation of climatological and hydrological droughts was studied by the assessment of the standardized indices (SPI and SRI), over 39 years of observed data (1980 to 2019). The SPI and SRI were assessed at two-time scales: 3 and 12 months. Results illustrate that more drought events occurred at 3 months scales than 12 months scales. The assessment of calculated SRI -12 and SPI -12 shows a fluctuation of dry and wet period. Some periods (1987/88, 2001/02 and 2017/18) appear as a severe drought, with an SRI and SPI values are upper to (-1.5). Also, three years present a moderate dry (1980/81, 1994/95 and 2015/16). About the 3-months scale (February, March and April), results of SRI indices revealed that only three years were considered as moderately drought (1982/83, 1994/95 and 2015/16). Then, two dry period can be marked. The first is from 1996/97 to 2002/03. The second begin in 2015/16 and finish in 2017/18. During the last two decades, the SRI proves a deficit in the runoff. Also, a common extremely wet year was detected at 1995/96. Its SRI-3 and SRI-12 are above 2.5 and its SPI-3 and SPI-12are upper to 1.5. A high correlation between SPI and SRI was detected at the studied Rmel watershed (R2 ≥ 0.7), indicating a significant relationship between meteorological and hydrologicaldroughts at medium (3 and 12 months) timescales in semi-arid context.

References

- Ben Khelifa W., Hermassi T., Habaieb H. 2018. Tendances climatiques futures en Tunisie semi-aride (cas du bassin versant de Rmel). Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement. ISSN (electronic): 1737-9350; ISSN (printed): 1737-6688; Volume III -Numéro 3 - Octobre 2018
- 2. Brunet-Moret Y. 1979. Homogénéisation des précipitations. Cahiers ORSTOM, série hydrologie, vol. XVI, n° 3-4, p. 144-170.
- Chargui, S., Jaberi, A., Cudennec, C., Lachaal, F., Calvez, R., Slimani, M., 2018. Statistical detection and no-detection of rainfall change trends and breaks in semiarid Tunisia-50+ years over the Merguellil agro-hydro-climatic reference basin. Arab J Geosci 11(675). https://doi.org/10.1007-018-4001-9
- Edwards, D. C. and McKee T. B., 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Gleeson, T., Y. Wada, M. F. P. Bierkens, and L. P. H. van Beek (2012), Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. Nature, Vol.488 (197–200). doi:10.1038/nature11295.
- Guppy, L., Anderson, K., 2017. Water Crisis Report. United Nations University Institute for Water, Environment and Health, Hamilton, Canada.
- Habibi, B., Meddi, M., Torfs, P. J. J. F., Remaoun, M., & Van Lanen, H. A. J. (2018). Characterisation and prediction of meteorological drought using stochastic models in the semi-arid Chéliff–Zahrez basin (Algeria). Journal of Hydrology: Regional Studies, 16, 15–31. doi:10.1016/j.ejrh.2018.02.005
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp
- Keyantash, John & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 07 Aug 2018. "The Climate Data Guide: Standardized Precipitation Index (SPI)". Retrieved from https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-index-spi.
- 10. Kogan, F. N. 1990: Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. Int. J. Remote Sens., 11, 1405–1419
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist., 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23,1993, Anaheim CA, p 179-186.
- 12. ONAGRI (Observatoire National de l'Agriculture). 2020. liste des périmètres irrigués publics -CRDA Sousse Tunisie. http://www.agridata.tn/fr/dataset/liste-des-perimetres-irrigues-publics-crda-sousse
- Palmer, W. C. 1965. Meteorological Drought. Research Paper No. 45. U.S. Weather Bureau. NOAA Library and nformation Services Division, Washington, DC, USA
- Scott M., Lindsey R. 2017. 2017 State of the climate: Global drought. https://www.climate.gov/news-features/featured-images/2017state-climate-global-drought.
- Shukla, S. & Wood, A.W. 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. Geophys. Res. Lett. 35, L02405. doi:10.1029/2007GL032487.
- Thiessen, A.H., 1911. Precipitation for large areas, Monthly Weather Review, 39, 1082–1084.
- 17. Thom, H.C.S., 1958. A note on the gamma distribution. Mon. Weather Rev. 86 (4), 117–122.
- United Nations (UN), Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248.
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.
- WMO, World Meteorological Organization, 2012. Standardized Precipitation Index User Guide (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). (WMO-No. 1090), Geneva.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2014. The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy. Paris, UNESCO.

Kamal El Badaoui, Ahmed Algouti, Abdellah Algouti and Essaadia Adaze Erosion Potential Method (Gavrilović Method): Methodological improvements and application i River catchment, southeast of Morocco

International Journal Water Sciences and Environment Technologies

Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 114-123

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

www.iiste.org

Scientific Press International Limited



Erosion Potential Method (Gavrilović Method): Methodological improvements and application in Toudgha River catchment, southeast of Morocco.

Kamal El Badaoui 1, Ahmed Algouti 2, Abdellah Algouti 3, Essaadia Adaze4

¹Phd student, Laboratory of 2GRNT, Department of Geology, Faculty of Sciences, Cadi Ayyad university.

Abstract

In the central high Atlas of Morocco, water erosion is the most important problem among soil degradation factors. It is a dynamic and complex phenomenon, linked to natural and anthropic factors which are difficult to control in time and space. Land degradation has visible impacts on the environment and hinders economic and social development. The consequences of erosion in high Atlas watersheds are costly for the Moroccan economy. The Erosion Potential Method also known as Gavrilović method is a valuable instrument for the estimation of the mean annual sediment yield at the watershed scale. The goal of this paper was to demonstrate its applicability in Toudgha River catchment located in the southeast flank of high Atlas Mountains. Urban areas which are adjacent to the rivers and flood plains are the most vulnerable areas to the water erosion (Tamttatoucht, Tizgui and harat al yamine villages) as they contain large number of population and agriculture economic resources. Thus the local officials of Tinghir city should recognize these prone areas to flooding in order to prevent and mitigate the impact of erosion. The main focus is given on the EPM modification and to provide an annual assessment for the catchment using GIS tools applied in this area as example. This study is the first to assess soil loss due to water erosion in Toudgha River and present the results in a map model. The method is intended for the quantification of erosion processes by estimation of erosion intensity; identify high risk areas and transportation of erosion sediment by river network.

Key Words: Erosion Potential Method, Toudgha River catchment, GIS, central high Atlas, water erosion risk, Morocco.

Méthode d'érosion potentielle (méthode du Gavrilović) : Méthodologie et application au bassin versant de la rivière du Toudgha, sud-est du Maroc

Résumé

Dans le Haut Atlas central du Maroc, l'érosion hydrique est le principal facteur de dégradation des sols. Il s'agit d'un phénomène dynamique et complexe, lié à des facteurs naturels et anthropiques difficiles à contrôler dans le temps et l'espace. La dégradation des sols a des impacts visibles sur l'environnement et sur le développement économique et social. La méthode d'érosion potentielle, également connue sous le nom de méthode Gavrilović, est une approche pour l'estimation de la production annuelle moyenne de sédiments à l'échelle d'un bassin hydrographique. L'objectif de cet article était de démontrer son applicabilité dans le bassin versant de la rivière du Toudgha, situé sur le flanc sud-est de massif du haut Atlas central. Les zones urbaines adjacentes aux rivières et aux plaines inondables sont les plus vulnérables à l'érosion hydrique (villages de Tamttatoucht, Tizgui et harat al yamine) car elles contiennent un grand nombre de ressources économiques liées à la population et à l'agriculture. Les autorités locales de la ville de Tinghir devraient donc reconnaître ces zones vulnerables aux inondations afin de prévenir et d'atténuer l'impact de l'érosion. L'objectif est mis sur la modification de l'EPM et sur l'évaluation annuelle du bassin versant à l'aide d'outils SIG appliqués dans cette zone à titre d'exemple. Cette étude est la première à évaluer la perte de sol due à l'érosion hydrique dans la rivière du Toudgha et à présenter les résultats dans un modèle cartographique. La méthode est destinée à la quantification des processus d'érosion par l'estimation de l'intensité de l'érosion; à l'identification des zones à haut risque et au transport des sédiments d'érosion par le réseau fluvial.

Mots Clés: Méthode d'érosion potentielle, bassin versant du Toudgha, SIG, Haut Atlas central, risque hydrique, Maroc

INTRODUCTION

¹ Corresponding author: <u>kamalelbada@gmail.com</u>

²Professor, Laboratory of 2GRNT, Department of Geology, Faculty of Sciences, Cadi Ayyad university.

³Professor, Laboratory of 2GRNT, Department of Geology, Faculty of Sciences, Cadi Ayyad university.

⁴Phd student, Laboratory of 2GRNT, Department of Geology, Faculty of Sciences, Cadi Ayyad university.

In recent years, many methods for erosion intensity and sediment production assessment and estimate have been developed. The necessity for better model performance lead to the more frequent application of the method sensitivity in order to decrease errors that arise from the model concept. Soil erosion due to surface water is one of the most important land degradation problem and a critical environmental hazard worldwide [12]. Human development and the inappropriate land utilization have accelerated the soil erosion at many locations on the earth's surface [3] [24] [34] As a result, every year millions of tons of sediment are produced around the world, and the water erosion is responsible for more than 56% of this sediment volume [9].

The impacts of soil erosion include decrease of effective root depth, nutrient and water imbalance in the root zone, also has led to the decrease in soil quality that results in loss of fertile top soil cover and a reduction in agricultural production. It also delivers millions of tons of sediment into reservoirs and lakes, causes damages to the dams facilities, and results in high economic costs by affecting the water quality [24] [30]. Thus, soil erosion is being considered as one of the major threats to global economic and environmental sustainability. Some temporally invariable parameters such as lithology, size of watershed, and variable factors such as climate, hydrology, ground cover, and land use also affect the sediment yield [17] [33] Note that soil erosion and sediment yield from agricultural or highly degraded forest areas is typically higher than that from uncultivated areas. Cultivated areas can act as both a source and a pathway for transporting nutrients [21].

Many studies have shown that human activity is the major cause of recent changes in the land use [3]. Also in non-residential areas biophysical conditions of the land, such as lithology, soil characteristics, hydrology, topography, and ground cover largely determine the spatial pattern of the land use and its temporal changes [10] [28]. The analysis presented in this paper refers to the application of the Gavrilović method (Erosion Potential Method), an empirical and semi-quantitative method that can estimate the amount of sediment production and sediment transport in Toudgha River watershed in Morocco as well as the erosion intensity and indicate the areas potentially threatened by erosion.

Each parameter was discussed individually in relation to its effect upon the method results, and ranked into categories depending on their influence. The reason of the analysis was to explore the constraints of the Gavrilović method and the method response to changes deriving from each individual parameter in reason to provide a better understanding of the EPM method, the weight and the contribution of each parameter in the overall method. The parameters that could potentially be used in future research, for method calibration and modification in catchments with different characteristics.

There are a variety of methodologies and models that can be applied to erosion sediment production assessment [16] [7]. The limit of application behind them differs; each model integrates different scientific technics and modeling approaches. Water erosion models differ in the output informations they provide (erosion sediment production, high risk areas erosion intensity and sediment transportation) but also in terms of complexity, the process considered and the data required for model calibration and model application [7].



Figure 1. Geographic setting of the study area of Toudgha river catchment.

The Toudgha river watershed is located to the west part of the large Ziz-Ghris basin, which corresponds to a Mesozoic tectonic depression [15]. It is bordered in the north by the reliefs of the central high Atlas and in the south by those of the Anti-Atlas chain.

The basin is mainly occupied by a principal river called (Oued Toudgha) in Figure 1, which drains the southern part of the central High Atlas chain. This basin is monitored by the hydrological station of Tamtattoucht, located upstream of the Toudgha gorges for 20Km to the North and the second one of Ait Bouijane station is about 40km to the South of the first. Toudgha River feeds the Tinghir region palm grove, and then crosses the Tinjdad palm grove to finally join the Ziz basin hydrographic network.

The Toudgha valley appears larger in the downstream part, while it becomes more entrenched to the upstream region. This allows us to subdivide the basin into three domains based on the overall relief presented in Figure 2 below: 1/ a high mountain domain which includes high reliefs constitute by carbonate facies of liassic age; 2/ a second intermediate domain characterized by quite important reliefs corresponding to the hills of the upper cretaceous period, but with less elevation than the previous ones; 3/ a downstream domain characterized by altitudinal depressions (small basins) and ending with the flat zone (quaternary

This diversified relief includes rugged terrain in the northern, north-western (High Atlas) and south-western parts (Anti-Atlas which corresponds to the northwest front of the Craton West African). Plateaus are located in the central part in particular, in the pre-African furrow, while the plains are covered by sedimentary terrains of Quaternary deposits which are the Tafilalt plain, oasis of Goulmima, Ferkla and Ghelil.

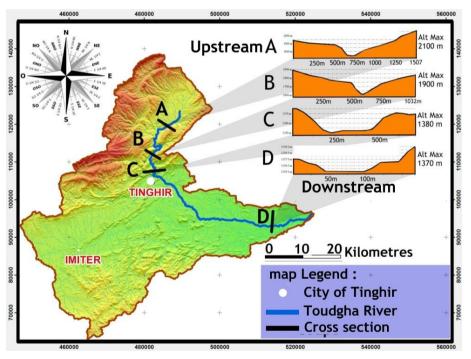


Figure 2. Cross sections showing the evolution of the river bed width of Toudgha River from upstream to downstream.

From the previous descriptions we confirm that the lateral borders of Toudgha river floodplain are essentially formed by permeable to semi-permeable soils and materials (sandstone, conglomerate less consolidated limestone, clay and silt) these lithological compositions will leads to the infiltration of rainfall to deep layers (high porosity), this circulation of water will contribute to the increase of vulnerability and the instability of these areas especially the river banks and flood plain areas that will make it easier to result in water erosion discharge and sediment transportation during flood events.

MATÉRIALS AND MÉTHODES

The first step to predict erosion and its severity on Toudgha river catchment is finding the methodology to apply. The restrictions of scale applicability of a method, and type of erosion the method deals with, has already covered within past researches [7] [2]. The accessibility of the data is often the crucial factor in the process of a model which is why this criterion is considered as the most relevant factor in proposed and applied methodology in this area.

Till the present, there has not been a model that considers all these processes together and can be applied on the catchments with the area of 30 km² or more with satisfying results [7]. Spatial heterogeneity, natural complexity and the lack of available data are the main reasons that increase the error rate of a model results. The first step, after the preliminary research, geographic and lithological informations gathering about the area, knowing the limit of application of the method, the research aims and goals for the area of interest has been defined, is to compose the primary list of existing erosion models as to be a first step in the process of appropriate method selection.

Different erosion models have been applied to evaluate soil erosion rates. Modeling is widely used in erosion studies [4]. There are different classifications of erosion models. They are divided into empirical and process based models. USLE [31], RUSLE [23], MUSLE [14]. and modified versions of these models are examples of empirical models. Papers applying these models were published in the international database of Web of Science. Examples of process-based erosion models: LISEM [11] MMF [20] [25] WATER/SEDEM [22], SWAT [29] and EUROSEM [19].

The EPM was developed by Gavrilovic based on field research conducted in the Morava River Catchment area in Serbia and has been applied worldwide in areas threatened by water-induced erosion processes [1]. The erosion model presented in this article which is presented in Figure 3 is based on the EPM and was used to provide three results: the erosion coefficient Z (Equation (1)), the total annual volume of detached soil Wa (m3/year) (Equation (2)) and the actual sediment yield Gy map (Equation (4)) which is applied for the first time in Toudgha river catchment.

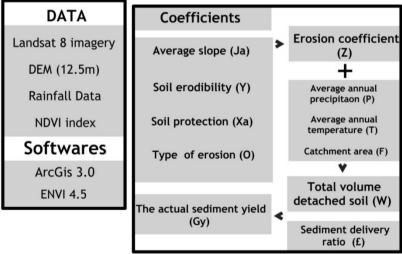


Figure 3. Flow chart of the adopted model based on the EPM.

(Equation (1))
$$Z=Y*Xa*(\phi + \sqrt{Ja})$$
 (the erosion coefficient)

Where (Y) is the soil erodibility coefficient, (Xa) is the soil protection coefficient; (ϕ) is the coefficient of type and extent of erosion, (Ja) is the average slope of the study area (%). The erosion coefficient (Z) is the only method output that shows both numerical and descriptive information about the area susceptibility to erosion processes.

(Equation (2))
$$Wa = T*Pa*p*Z1.5*F$$
 (the total annual volume of detached soil)

Where T is the temperature coefficient calculated by using (Equation (3)), Pa is the average annual precipitation (mm) and F is the study area (km2). Temperature coefficient is calculated using Equation (3):

(Equation (3))
$$T = \sqrt{[(T0/10) + 0.1]}$$
 To is the average annual temperature (° C). (Equation (4)) $Gy = f *Wa$ (the actual sediment yield)

Where f, is the sediment delivery ratio and can be calculated using the modified (Equation (5)) proposed by Lazarevic [7]:

(Equation (5))
$$f = [\sqrt{(O*z)/(lp+10)}]$$
 * Dd (the sediment delivery ratio)

Where O is the perimeter of the study area (km), z is the mean difference in the elevation of the study area (km), lp is the

(Equation (6))
$$Dd = (lp+la)/F = L/F$$
 (the drainage density)

length of the principal waterway (km) and Dd is the drainage density (km/km2)

Where la is the cumulative length of the secondary waterways (km) and L is the cumulated length of the principal and secondary waterways (km). The soil protection coefficient, soil erodibility coefficient, and coefficient of type and extent of erosion are determined using tables that provide descriptive and numerical evaluations for these parameters.

The average annual precipitations Pa was obtained from the Ziz ghris Agency data, and the average annual temperature T was extracted using the band number B10 of landsat 8 Oli/Tirs analysis under GIS software, with an average temperature of 12 months of the year 2019 (by calculating the average of 12 values extracted from 12 bands of Landsat 8 oli/Tirs (Band10)).

In present work, firstly the Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1 satellite image has been downloaded from www.earth explorer.usgs.gov, covering the complete study area acquired on 2019/02/19.

Quantitative assessments of the intensity of soil erosion and its spatial development have been extensively developed using erosion modeling at different levels of generalization, from small watershed to continental scales [13]. Currently, GIS tool and remote sensing are widely used to calculate the erosive soil loss. These systems allow large amounts of data to be processed and to help evaluate the amount of erosion at an acceptable accuracy at different levels of generalization. Advances in modern GIS technologies have allowed us to evaluate the erosion of unprecedentedly large basin and create cartographic models of soil erosion in Toudgha river catchment.

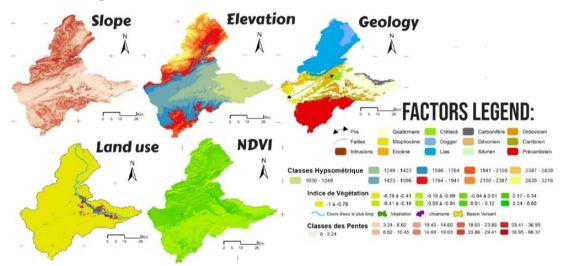


Figure 4. Preliminary factors integrated to calculate the EPM coefficients: land use, lithology, elevation, slope and NDVI.

RESULTS AND DISCUSSION

Erosion intensity and sediment production assessment:

Soil erodibility coefficient Y:

Soil erodibility presented in figure 5 is one of the most important factor integrated in erosion models. Its significance has been pointed by many scientists before such as [18] [5] [32].

This coefficient is based on soil type of Toudgha River catchment. For the purpose of uncertainty analysis, the map was derived based on the four Geological maps of Tinghir area with the scale 1:100 000 and evaluated according to the proposed tables for the Gavrilović method.

Soil protection coefficient Xa:

The equation using to measure the Xa parameter in Toudgha river catchment was:

Xa = (XaNDVI-0.61)*(-1.25) [6]

 \Rightarrow XaNDVI = Min - 0.9 NDVI < > Max + 0.6 NDVI NDVI = (NIR-R)/(NIR+R)

Xa = NDVI (values between -0.9 and +0.6)-0.61)*(-1.25)

Coefficient of type and extent of erosion ϕ :

This coefficient is a parameter integrated in our model calculation, which was obtained by using the equation below:

 $\Phi = \sqrt{R/Qmax}$ R = in our case it is the Band number 4 image in case of using (Landsat8 Oli/Tirs) images. Qmax = value obtained from the attached MTL file (quantize_cal_max_band_4 = 65535) > Qmax=65535

Average slope of the study area Ja:

The Alos palsar digital elevation model with a 12.5 * 12.5m cell size spatial resolution, from which the average slope of the study area (Ja factor) and mean difference in elevation (z) of the study area, The perimeter of the study area (O) the length of the principal waterway (Ip) and the drainage density (Dd) were extracted.

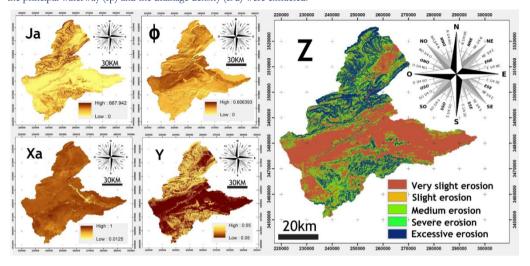


Figure 5. The coefficients maps used to elaborate the erosion coefficient Z map by the contribution of equation (1).

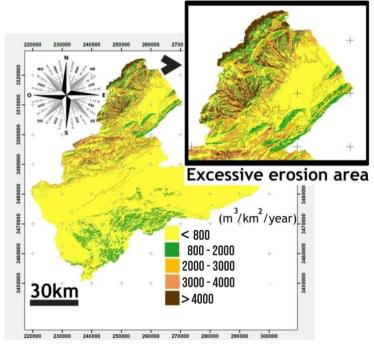


Figure 6. The Toudgha river catchment soil erosion map (Wa) showing the total annual volume of detached soil using EPM

Table 1. Distribution of soil loss classes in the catchment 'Area / percentages values'.

< 800 (m3/km2/y)
800-2000
2000-3000
■ 3000-4000
■ > 4000

Code	Classes (m3/km2/y)	Erosion Type	Area(km2)	%
1	<800	Very slight	1645.96	71.57
2	800-2000	Slight	251.31	10.93
3	2000-3000	Medium	180.27	7.84
4	3000-4000	Severe	158.42	6.89
5	>4000	excessive	63.56	2.76

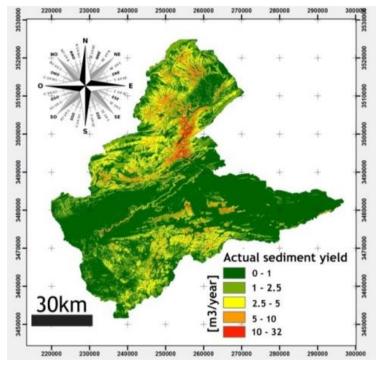


Figure 7. Actual sediment yield Gy of Toudgha river catchment.

The highest amounts of soil loss by applying the EPM model occurred in Toudgha river cathchmet is located in the extreme NW with an average of $4000 \, (\text{m}^3/\text{km}^2/\text{y})$ this area constitute the highest value of rainfall /snowfall during the whole year, also its known by its lithological units (marle,dolomite,clay and limestone), the characteristics of this area (very steep slope and the very low vegetation cover) made it the source and the most area with high probability of occurrence of the hydric erosion risk and generally to be an area that produce all landslide types include falls, topples, translational slides, lateral spreads, and flows. Based on the spatio-temporal analysis of the potential losses of soil from water erosion within the whole parts and units of the area, we conclude the following results which are presented in Figure 6 and Table 1:

- There was a significant (71.57%) soil erosion rate occupied an area of 1645. 96 km² with an annual erosion of (< 800 m3/km2/year) on land located and characterized by area with very low slope even flat zone, urban area and by a high vegetation cover region as presented in Figure 6.
- There was a percentage of (7.84%) in soil erosion rate occupied an area of $180.27~\mathrm{km^2}$ with an annual erosion of (between 2000 $3000~\mathrm{m^3/km^2/year}$) in the central part of the basin with medium slopes degrees in north part of the central high-Atlas Mountains.
- There was an average of (2%) in soil erosion rate occupied an area of 63.56 km² which is the most excessive erosion area with a minimum amount of 4000 m³/km²/year, at least three factors made this area a high risky zone in the whole basin which are the steep slopes, absence of vegetation cover and the important snowfall during the autumn season.

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 – April 2021

El Badaoui et al./ JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 114-123

DISCUSSION

The model outputs are mainly based on the multiplication of the model parameters; thus, for example, when varying the Average erosion resistance of rocks (Soil erodibility coefficient Y), the model outcome total annual volume of detached soil Wa will vary proportionally. Not all parameters are included in the model through multiplication, examples of the average slope of the study area Ja, Average annual temperature T0, and Drainage density Dd Most of these parameters are categorized as high sensitivity, whereas those in the multiplication form are classified as very high-sensitivity factors.

The second thing that should be taken into consid reation during model modification in order to mitigate model errors and uncertainties is whether or not the average annual temperature is given a high enough significance in the model. The question is if the integration of T0 (annual temperature average in our case which was 32° for Tinghir region) in this way in the method restricts its use only within the areas of similar climate.

Average slope length and gradient of the upper part of Toudgha River catchment have a great impact upon water erosion, runoff, and downslope sediment transport and as such represent study area topography. The impact of this parameter (Ja) upon a method outcome is high but according to its calculated values for sensitivity index I, Ja falls within parameters with lower high-sensitivity class values. All these parameters could potentially be used in future research where the need for its modification and method calibration presents for research areas with different characteristic (e.g. climate, geological, etc.) than those applied to nowadays.

[27] Indicated the dependence of parameter sensitivity ranking, for higher ranked parameters, on the variable, the location, and case study. They highlighted the need for the sensitivity analysis to be conducted on each new catchment study in order to select a subset of pa-rameters to be used for model calibration or/and uncertainty analysis. Overall, the most sensitive model parameters resulting from the conducted sensitivity analysis for Gavrilović method are also those considered significant in the scientific literature on erosion [26] [18].

Soil erodibility coefficient and soil protection coefficient Xa are considered very high-sensitive parameters with Xa being a high-sensitive parameter in relation to Wa model output. [8] Analyzed the effect of using different information sources for land use parameter Xa and noted significant deviation in model output values. Although, their analysis explores the parameter uncertainty in a model, it is also closely related to parameter sensitivity analysis since both analyses take into consideration the deviation in a parameter value, whether intentionally choosing the percentage for which its value will differ or choosing among various data whose deviation is defined by other external factors.

This research allows us, for the first time, to obtain quantitative data on the intensity of soil erosion in this area located in the south par of central high atlas of Morocco.

In addition, our research can also be considered a pilot project. The limitations associated with the sources of information, quality, and level of detail of the original data, as well as unresolved methodical objectives, are clearly visible as follows:

- Unfortunately, there is no national DEM with a high spatial resolution for Morocco; therefore, we used the global freely distributed DEM of Alos palsar 12.5m*12.5m, which does not have the highest spatial resolution among global freely distributed models. Our use of a more detailed terrain model as a result, the calculation of the LS factor from the used DEM may be underestimated;
- Due to the absence of erodibilty maps, we have used only the geological maps of the area (4maps) for producing Soil erodibility coefficient, with a scale of 1/100 000, this model greatly simplifies the spatial distribution of soil type hardness.
- The sparseness of the existing hydro meteorological stations (2 stations) in the study area also limits the spatial detail of erosion calculations by using a minimum data of rainfall data.

CONCLUSION

The Gavrilović method is a semi-quantitative method that enables assessment of erosion coefficient (intensity), total annual sediment production and actual sediment yield. During the research on the application of this method in Tinghir region and on the first time globally in the southeast of morocco, was noticed that the analysis using the modified formula for the sediment delivery ratio, that includes the drainage density as the ratio between the primary and secondary river length and catchment area, obtains results that correspond better to on-site measurements. From that, the recommendation to use modified formula for sediment delivery ratio in all future analysis including Gavrilović model was emphasized to avoid incorrect results indicating larger values for the actual sediment yield compared with those of the total annual volume of the detached soil (maximum interval between 4000 – 4500 m³/km²/year).

The data included in the model are subdivided into spatially variant and spatially invariant parameters. Soil erodibility coefficient is based on soil type in the area of interest and has been pointed as one of the most important parameters in erosion models. The model output erosion intensity, land cover map for the present area and the soil surface change were verified using Landsat imagery and visual survey in the field. All verifications revealed good results, and the high accuracy of the derived maps was confirmed. The research presented in this article has shown that the EPM model works well and can

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 – April 2021

El Badaoui et al./ JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 114-123

differentiate areas highly susceptible to erosion form those less so. However, for more specific and accurate analysis on model performance estimating the amount of soil loss, quantitative measurements are needed.

Despite its simplicity, EPM provides reliable sediment erosion estimates and, on the basis of the suggested modifications, it may prove to be an useful instrument for the assessment of the intensity of this phenomenon also in other parts. The modifications suggested for the application stage reflect more accurately the calibration approach followed by Gavrilovic in the definition of EPM parameters.

In summary, erosion occurred over all parts of the study area. The results showed that the central and southern parts of the watershed were lowly susceptible to erosion due to their hard and coherent lithological formations and the land cover variation, while the northern parts were more subjected to erosion due to less vegetation and steep slopes. Therefore, elaboration of erosion management plan to decrease the sediment production especially in the north parts of the Toudgha River is suggested. This study provided valuable information and demonstrated the usefulness of applying geospatial information in natural resources and soil conservation projects.

References

- 1. Dragi N, Karleusa B, Ozanic N. 2016. A review of the Gavrilovic method (Erosion Potential Method) application. Grad-evinar. 68(9):715–725.
- 2. Blinkov, I. and Kostadinov, S. 2010. Applicability of various erosion risk assessment methodsfor engineering purposes, In: Proceedings of the Fourth International Scientific Conference BALWOIS 2010, Ohrid, Macedonia, May 25 29, 2010, pp. 1-13.
- 3. Bennett, H., et al. 1939. Soil conservation. NewYork: Mcgraw-HillBookCo. Clark,
- 4. Boardman, J., Poesen, J., 2006.Soil Erosion in Europe. Soil Erosion in Europe. https://doi.org/10.1002/0470859202.
- Bryan, R.B. 2000. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope, Geomorphology 32, pp. 385-415.
- 6. Chaaouan J. 2013. Télédétection, SIG et modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Amzaz, Rif Central. Revue Française de Photogrammetrie et de Teledetection.
- 7. de Vente J, Poesen J. 2005. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models. Earth Sci Rev. 71(1–2):95–125.
- 8. Dragicevic, N., Barbara, K., Nevenka, O., 2017. Potential Method (Gavrilović Method) Sensitivity Analysis. doi: 10.17221/27/2016-SWR
- 9. Elirehema, Y. (2001), Soil water erosion modeling in selected watersheds in Southern Spain. Enschede:IFA,ITC.
- 10. Estrany, J., Garcia, C., & Walling, D.E. 2010. An investigation of soil erosion and redistribution in a Mediterranean low land agricultural catchment using cae-sum-137. International Journal of Sediment Research, 25(1), 1–16.
- 11. Grum, B et al. 2017. Assessing the effect of water harvesting techniques on event-based hydrological responses and sediment yield at a catchment scale in northern Ethiopia using the Limburg Soil Erosion Model (LISEM). Catena 20–34. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.018.
- 12. Jain, M., Das, D. 2010. Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing. Water Resources management, 24(10), 2091–2112.
- 13. Karydas, C.G., Panagos, P., Gitas, I.Z., 2014. A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics. Int. J. Digit. Earth. https://doi.org/10.1080/17538947.2012.671380.
- 14. Kumar, P.S., Praveen, T.V., Prasad, M.A., 2015. Simulation of Sediment Yield Over Ungauged Stations Using MUSLE and Fuzzy Model. Aquat. Procedia. https://doi.org/10. 1016/j.aqpro.2015.02.168.Sediment Research, 25(3), 283–293.
- Michard A. 1976. Eléments de géologie Marocaine. Notes et Mémoire. Services Géol. Du Maroc, n°252.
- 16. Merritt, WS., Letcher, RA., Jakeman, AJ. 2003. A review of erosion and sediment transport models. Environ Model Software. 18:761–799. doi: 10.1016/S1364-8152(03)00078-1.
- 17. Milliman, J., P.m, Syvitski, 1992. Geomorphic Tectonic Control of Sediment Discharge to Ocean The Importance of Small Mountainous Rivers December 1991 The Journal of Geology 100(5):525-544 DOI: 10.1086/629606
- 18. Morgan, R. P. 2005. Soil Erosion & Conservation. Oxford, United Kingdom: Blackweel Science Ltd.
- 19. Morgan, et al., 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Earth Surf. Process. Landforms 23, 527–544.
- 20. Morgan, R.P.C.C., Morgan, D.D.V.V., Finney, H.J., 1984. A predictive model for the assessment of soil erosion risk. J. Agricultural Eng. Res. 245–253. https://doi.org/10.1016/S0021-8634(84)80025-6.
- 21. Ouyang, D. Bartholic, J.1997.Predicting sediment delivery ratio in Saginaw Bay watershed. In: Paper presented at the proceedings of the 22nd national association of environmental professionals conference.
- 22. Quijano, L., Beguería, S., Gaspar, L., Navas, A., 2016. Estimating erosion rates using 137Cs measurements and WATEM/SEDEM in a Mediterranean cultivated field.CATENA 38–51. https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.11.009.

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (VI) - Issue 1 – April 202

El Badaoui et al./ JISTEE, Vol. (vi), Issue 1, April 2021, pp. 114-123

- 23. Renard, K..G., Yoder, D.et al 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Resived Universal Soil Loss Equation (RUSLE), in: Agriculture Handbook. https://doi.org/DC0-16-048938-5
- 24. Refahi, H.G.1996. Water erosion and conservation. Tehran: University Of Tehran Publication.
- 25. Shrestha, D.P., Jetten, V.G., 2018. Modelling erosion on a daily basis, an adaptation of the MMF approach. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.09.003.
- 26. Toy et al. 2002. Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control. Book
- 27. Van Griensvena, T, Meixnera, S, Grunwald., 2006. A global sensitivity analysis tool for the parameters of multivariable catchment models
- 28. Veldkamp, A., Fresco, L. O., 1996. A conceptual model to study the conversion of land use and its effects. Ecological modelling, 85(2-3), 253-270.
- 29. Vigiak, et al. 2015. Adapting SWAT hillslope erosion model to predict sediment concentrations and yields in large Basins. Sci. Total Environ. 538, 855–875. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.095.
- 30. Wang, G., Gertner, G., Fang, S., & Anderson, A.B. 2003. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. Photogrammetric Engineering Remote Sensing, 69(8), 889–898.
- 31. Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537. https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285.
- 32. Wischmeier, W.H. and Mannering, J.V. 1969.Relation of soil properties to its erodibility, soil science society of America journal 33 (1), pp. 131-137.
- 33. Zhang, X., et al. 2010. Effects of land use change on surface runoff and sediment yield at different watershed scales on the Loess Plateau. International Journal of
- 34. Zhang, X., et al. 2015.Character- istics of water erosion and conservation practice in arid regions of Central Asia: Xinjiang Province, China as an example. International Soil less and Water Con- servation Research.



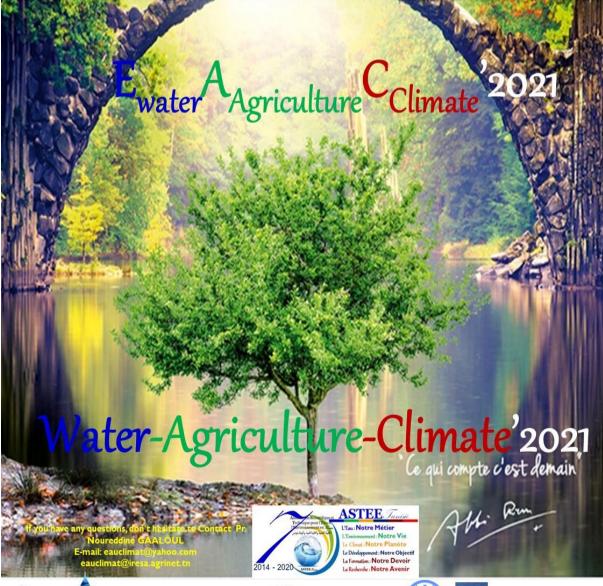
International Conference-Training (EAC'2021)

From 4 to 9 November 2021 Hammamet (Tunisia)



Water resources, **Agriculture** and Climate Change

























2021 Colloque-Formation International Eau-Agriculture-Climat'2021

Ressources en Eau, Agriculture et Changement Climatique

04 au 09 Octobre 2021, Hammamet (Tunisie) www.jistee.org













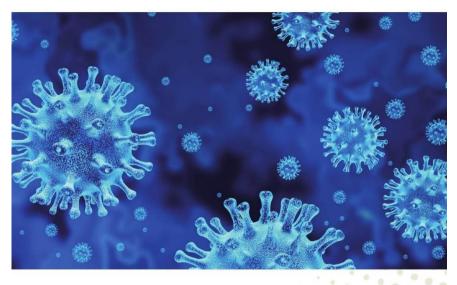












Noureddine Gaaloul

••••

Seawater Intrusion into Coastal Aquifer and Climate Change

Impact of the coronavirus (covid-19) on the environment and water resources 4

https://my.editions-ue.com/catalogue/details/fr/978-613-9-57238-0/seawater-intrusion-into-coastalaquifer-and-climate-change

https://www.amazon.fr/Seawater-Intrusion-Coastal-Aquifer-Climate/dp/613957238X



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



ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688 Open Access 06 Volumes, 16 Numéros, (298 Articles) (mise à jour Avril 2021)

06 Volumes, 16 Iuues, (298 Papers) (Up date April 2021

International Journal Water Sciences And Environment Technologies (IJWSET)

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

Volume (VI): 3 Numéros (:::::::Articles) / 3 Issues (::::::Papers) Eau-Agriculture-Climat'2021 / Water--Ágriculture-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 – Juillet 2021

Numéro 3 – Décembre 20201

VOLUME (V) 2 Numéros (27 Articles) / 2 Issues (27 Papers) Eau-Climat'2020 (EC-2020) / Water-Climate'2020 (EC-2020)

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

Numéro 2 – Décembre 2020 (13 Articles) Gestion Intégré des Ressources en Eau et

Changement Climatique / Integrated Water Resources Management and Climate Change

VOLUME (IV): 2 Numéros (68 Articles) / 2 Issues (68 Papers) Eau-Énergie-Climat'2019 (2EC-2019) /Water-Energy-Climate'2019 (E²C-2019)

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

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

VOLUME (III): 3 Numéros (103 Articles) / 3 Issues (103 Papers) Eau-Environnement-Climat'2018 (E2C-2018) /Water-Environement-Climate'2018

Numéro 1 - Avril 2018 (62 Articles) Gestion des Ressources en Eau / Water Resources Management Numéro 2 - Août 2018 (34 Articles) Sciences de l'Environnement / Environmental Earth Sciences

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

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

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

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

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

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

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 © 2020 - Jistee Tous droits réservés

Page 127





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

Appel à contributions : Prochain numéro la revue Scientifique : JISTEE – Juillet 2021

Nous coordonnons la rédaction, du numéro mois de **Juillet 2021 " Eau- Agriculture – Climat"**, (EAC-2021), qui vous est ensuite offert gratuitement en format pdf.

Le thème retenu pour 2021 est " Eau- Agriculture – Climat", en vous rappelant, si besoin en était, que le changement global couvre à la fois le changement climatique et les changements anthropiques (variations d'occupation des sols et aménagements des bassins versants, prélèvements, etc.).

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

Les contributions seront attendues pour le courant du mois de Juin et Juillet 2021 afin de pouvoir être révisées par le Comité Scientifique International et que la mise en forme du numéro ait lieu en Juillet 2021 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: IISTEE – July 2021

International Journal of Water Science and Environment Technologies

We are pleased to inform you that the Vol 6, No 2 of International Journal of Water Science and Environment Technologies is available at https://jistee.org/volume-vi-2021/

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

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

to our online direct submission area, located here:

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

JOURNAL INTERNATIONAL

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

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

Volume (VI) - Numéro 1 — Avril 2021

Eau-Agriculture-Climat'2021



Face aux enjeux climatiques et alimentaires : Réinventer les relations Eau-Agriculture-Climat

Rédacteur en Chef: Pr Noureddine Gaaloul

Publié par:

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

INTERNATIONAL JOURNAL

Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (VI) - Issue 1 — April 2021

Water-Agriculture-Climate'2021



Faced with climate and food issues: Reinventing Water-Agriculture-Climate relations

Editor-in-Chief: Pr Noureddine Gaaloul

Published by:

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