# JOURNAL INTERNATIONAL

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

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

Volume (V) - Numéro 1 — Septembre 2020

## Eau-Climat'2020



### Ressources en Eau et Changement Climatique

Rédacteur en Chef: Pr Noureddine Gaaloul

<u>Publié par :</u>

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



"وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاء 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/

### Comité Scientifique International (CSI-EC'2020) International Scientific Committee (ISC-EC'2020)

Noureddine Gaaloul Université de Carthage — IRESA - INRGREF (Tunisie)
Hamadi Habaieb Université de Carthage — IRESA - INAT (Tunisie)
Zouhaier Nasr Université de Carthage - IRESA - INRGREF (Tunisie)
Mohamed Hachicha Université de Carthage - IRESA - INRGREF (Tunisie)
Taoufik Hermassi Université de Carthage — IRESA - INRGREF (Tunisie)

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

Mohamed Habib Sellami Université de Jendouba — IRESA- ESIM (Tunisie) Hechmi Belaid Université de Jendouba -IRESA- ESIM (Tunisie)

Rim Katlane Université de la Manouba - Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités (Tunisie)

Adel Kharroubi Université de Gabès – ISSTEG (Tunisie)

Hélène Ben Khemis
Mohamed Meddi
ENSH, (Algérie)
Azzedine Hani
Larbi Djabri
Abdelhalim Yahiaoui
Guergazi Saâdia
Univ. Annaba (Algérie)
Univ. Bechar (Algérie)
Univ. Bechar (Algérie)
Univ. Bechar (Algérie)
Université de Biskra (Algérie)
Université de Annaba (Algérie)

Beloulou Laroussi Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)
Mohammed Achite Université de Chlef (Algérie)

Mohammed Achite Université de Chlef (Algérie)
Abdelhalim Yahiaoui Université de Bechar (Algérie)
Mohamed Bessenasse Université de Saad Dahlab- Blida (Algérie)
Abdessamad Merzouk Université de Tlemcen (Algérie)

Benabadji Noury Université de Tlemcen (Algérie)
Guendouz Abdelhamid Université de Blida I (Algérie)
Khoualdia Wacila Université de Souk-Ahras (Algérie)

Belkacem Bekkoussa Université Mustapha Stambouli de Mascara (Algérie)

Univ. ENI-abt (Mali)

Ali Essahlaoui Université Moulay IsmailMeknes (Maroc)
El Ouali Abdelhadi Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)
Abdellah El Hmaidi Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)
Imad Manssouri Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)

Abdelmajid Moumen

Mhamed Amyay

Abdelaziz Abdallaoui

Sousou Sambou

Diop Ngom Fatou

Université Nadour (Maroc)

Université deFès (Maroc)

Université Moulay Ismail (Maroc)

Vniv. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)

Univ. Cheikh Diop UCAD FST (Sénégal)

UFR STRM (Cote d'Ivoire) Soro Nagnin Gnamba Franck Maxime UFR STRM (Cote d'ivoire) UFR STRM (Cote d'Ivoire) Soro Nagnin Univ. Dem. Rep. (Congo) Cush Ngonzo Luwesi Koussouhon A. Leonard FLLAC/ UAC (Congo) Koumassi Dègla Hervé LACEEDE/UAC (Bénin) Hamma Yacouba 2iE (Burkina Faso) Harouna Karambiri 2iE (Burkina Faso) Lienou Gaston Univ. Yaoundé (Cameroun) Gnandi Kissao Univ. Lomé (Togo)

Saeid Eslamian Université de. Isfahan (Iran)
Amadou Gaye CR4D (Ethiopia)
Richard Anyah CR4D (Ethiopia)
Benjamin Lamptey CR4D (Ethiopia)
Aqeel Al-Adili Univ. Technology (Iraq)
Moumtaz Razack Université de Poitiers (France)
Lucila Candella Univ. Catalonia (Spain)

Fotis K. Pliakas Univ. Thrace (Greece) Andreas Kallioras Univ. Athens (Greece)

Hamadoun Bokar

Christoph Schüth Tech.Univ. Darmstrad (Germany)



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

### **Préface**



L'agriculture n'est pas possible sans eau. Les sécheresses et les canicules affectent la vie biologique des sols, la biodiversité et toutes les fonctions liées. Dans les pays confrontés au stress hydrique, l'irrigation remonte ainsi à l'histoire la plus anciennel. Il en allait de la sécurisation des systèmes alimentaires et du progrès humain. L'épanouissement de civilisations brillantes - mésopotamienne et égyptienne, inca etaztèque, méditerranéennes et oasiennes, - y trouve son origine.

L'eau, élément essentiel à la vie et au développement humain, est une ressource critique dans la région méditerranéenne. D'es le début des années 70, au moment de l'émergence des questions d'environnement comme élément important de l'agenda international, la Méditerranée apparaissait naturellement comme une zone particulièrement fragile à la fois en raison de la forte pollution de la Méditerranée et des contraintes d'approvisionnement en eau douce. Aujourd'hui la région méditerranéenne ne dispose que de 3% des ressources en eau mondiales, alors qu'elle représente 7% de la population mondiale, et on y trouve 60% de la population mondiale dite pauvre en eau.

Le changement climatique impacte le cycle de l'eau et l'agriculture. Les cinq grands risques identifiés par le dernier rapport du GIEC sont relatifs à l'eau, à l'agriculture et aux moyens de subsistance. Le risque est mondial, régional (Afrique, Méditerranée, Asie du Sud...), national et local. La sécurité alimentaire sera affectée sous ses quatre aspects (accès, stabilité, disponibilité, qualité) tout au long du siècle.

Face au constat d'une vulnérabilité généralisée de nos territoires en proie au manque d'eau, aux inondations et autres aléas climatiques, la question n'est plus de savoir s'il faut agir, mais où, comment et quelles priorités se donner pour investir. Ainsi, les enjeux climatiques et alimentaires invitent à réinventer les liens entre l'eau, l'agriculture et la société, à anticiper les effets du dérèglement et à promouvoir une autre culture de l'eau, intégrant le continuum eau bleue/eau verte et réunissant les solutions au lieu de les opposer.

La COVID-19 a tiré un signal d'alarme sur l'importance d'assurer l'accès à l'eau potable, l'assainissement et l'hygiène pour tous afin de protéger la santé et le bien-être humain. L'utilisation de l'eau en tant que ressource essentielle pour combattre la COVID-19 à travers les gestes d'hygiène (le lavage des mains avec du savon et de l'eau) est maintenant mondialement perçue comme étant le meilleur moyen de prévention contre la transmission de la COVID-19. Ce qui semble être une simple recommandation de l'OMS, fondée sur des principes d'hygiène de base, devient beaucoup plus compliqué dans la région MENA qui est la plus touchée par la pénurie hydrique frappante surtout que plus de 60 % de la population de cette région vit dans des zones subissant un stress hydrique élevé ou très élevé. Pour la région MENA, il convient de mentionner que plus de 362 millions de personnes vivent avec moins de 1 000 mètres cubes d'eau douce par personne et par an, frôlant les 500 m³/an/hab, et 18 des 22 pays arabes sont considérés comme rares en eau.

Face au « tic-tac de l'horloge climatique », la voie était étroite pour mettre en œuvre des mesures efficaces de lutte contre le changement climatique sans creuser les inégalités sociales. L'horloge climatique a subi un choc inattendu, celui du Covid-19 suivi d'un confinement de grande ampleur des populations dans leur pays, avec des impacts majeurs sur la mobilité, la production, la vie sociale et, par voie de conséquence, sur les émissions de gaz à effet de serre à l'origine du changement climatique.

Noureddine Gaaloul Professeur de l'Enseignement Supérieur Agricole (INRGREF)

Rédacteur en Chef de la Revue Journal International Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement

Président de l'ASTEE Tunisis



### www.jistee.org

<u>istee@iresa.agrinet.tn</u> iistee@yahoo.com



### **Volume (I): Eau-Climat'2014 (EC-2014)** / Water-Climate'2014 (EC-2014)

Numéro I – Avril 2014 : Ressources en Eaux de Surface en Région Méditerranéenne Surface Water Resources in the Mediterranean Region.

Numéro 2 - Août 2014 : Ressources en Eaux Souterraines en Région Méditerranéenne

Ground Water Resources in the Mediterranean Region.

Numéro 3 – Décembre 2014 : Changements Climatiques en Région Méditerranéenne Climate Change in the Mediterranean Region

### Volume (II): Eau-Société-Climat'2017 (ESC-2017) / Water-Society-Climate'2017 (ESC-2017)

Numéro I – Février 2017 : Caractérisation qualitative et quantitative des ressources en eau Qualitative and quantitative characterization of water resources.

Numéro 2 – Avril 2017 : 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 :Vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques Vulnerability of Water Resources to Climate Change.

Numéro 4 – Août 2017 : 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 : Modélisation Numérique en Hydraulique, Hydrologie et Hydrogéologie

Numerical Modeling in Hydraulics, Hydrology and Hydrogeology

### Volume (III): Eau-Environnement-Climat'2018 (E<sup>2</sup>C-2018) / ater-Environement-Climate'2018 (E<sup>2</sup>C-2018)

Numéro I – Avril 2018 : Gestion des Ressources en Eau

Water Resources Management.

Numéro 2 – Août 2018 : Sciences de l'Environnement

Environmental Earth Sciences.

Numéro 3 – Décembre 2018 : Changement Climatique et Adaptation

Climate Change and Adaptation

### Volume (IV): Eau-Énergie-Climat'2019 (2EC-2019) / Water-Energy-Climate'2019 (E<sup>2</sup>C-2019)

Numéro I – Décembre 2019 : Gestion Intégrée des Ressources en Eaux Integrated Water Resources Management.

Numéro 2 – Décembre 2019 : Énergies Renouvelables Et changements climatiques Renewable Energies and climate change

### Volume (V): Eau-Climat'2020 / Water-Climate'2020

Numéro I – Septembre 2020 : Ressources en Eaux et Changements Climatiques

Water Resources and Climate Change.

Numéro 2 – Décembre 2020 : Gestion Intégré des Ressources en Eau et Changement Climatique Integrated Water Resources Management and Climate Change

Copyright © 2020 – Jistee Tous droits réservés

### Sommaire

Philippe Martin, (Université d'Avignon - France)	- 11
Modélisation Hydrologique Différentielle du fonctionnement des hydrosystèmes karstiques de la Sainte	
Baume (B. du Rh., Var; France); réflexions sur l'utilité de mesures anciennes réanalysées avec un	
nouveau modèle (MHD)	
Hadj Allal Fatima Zahra (Université de Tlemcen - Algérie), Merzouk Abdessamad, Aboura Rédda,	25
Stambouli Hassiba	
Phytoécologie des ripisylves dans la région de Tlemcen : cas des Tamaricacées	
Mohamed Habib Sellami (Université de Jendouba - Tunisie), Amor Boughdiri, FatmaAbdel Malek	36
Approche de modélisation pour l'étude de l'efficience des stations de dessalement et des techniques	
de valorisation des saumures. Etudes des cas	
Azougarh Lahcen (Université Ibn Tofail flsh Kénitra – Maroc), Mouline Mohyeddine Ahmed, Talbi Naima	51
Des ressources en eau fragiles face à la variabilite climatique et l'activite anthropique dans le sous bassin	
toudgha (sud-est marocain)	
Abdoulaye Barry (Institut Supérieur Agronomiqueet Vétérinaire de Faranah - Guinée), Aissatou	59
Lamaranbah, Amadou Tanou Diallo, Mamady Kourouma	
Interaction fumier et potasse sur le stress hydrique du riz	
Amor Boughdiri (Université de Carthage – Tunisie), Gouider Tibaoui, Chaima Sdiri	60
Effet de stress hydrique sur le comportement de quelques écotypes de lupins collectés de différentes	
régions de la Tunisie dans un contexte de changement climatique	
Dorsaf Fayech (Université de Carthage – Tunisie), Jamila Tarhouni	70
Variabilité et tendances pluviométrique dans le sud est tunisien	
Nedjoua Benabadj (Université de Tlemcen – Algérie), Merzouk Abdessamad, Benabadji Noury	88
Le complexe édapho-floristique d'une région de l'Oranie (Algérie)	
Boudghene Stambouli Sihem (Université de Tlemcen - Algérie), Kahouadji Selma, Benabadji Noury	95
Etude de la tolérance aux sels chez la lentille (Lens esculenta)	
Radhia Essamin (University of Gabes – Tunisia), Rim Katlane, Samir Kamel	10
Mapping flood impacts arising from land cover maps of Sidi Salem dam and Bousalem city, north western	
Tunisia	
H. Djan'na Koubodana (University of Abomey Calavi – Benin), Julien Adounkpe, Kossi Atchonouglo,	-118
Komi Agboka, Koffi Djaman, Kossi Komi, Dambré Koungbanane	
Assessing Water Balance Components Contribution Variation in the Mono River Basin, West Africa	
Insaf Cherif (University of Carthage - Tunisia), Taoufik Hermassi, Mohamed Mechergui	12
Comparing between ten regression equations to estimate rainfall erosivity using a long-term	
precipitation dataset in Tunisia	
Baccari Noamen (University of Tunis - Tunisia), Hermassi Taoufik, Seifeddine Ben Arfa	13
Flood risk assessment and mapping using multi-criteria analysis (AHP) model and GIS: Case of the	
Jendouba Governorate – Northwestern Tunisia	
Noureddine Gaaloul (University of Carthage – Tunisia), Saeid Eslamian, Rim Katlane	14
Water resource management techniques in Tunisia: Towards sustainable agricultural use	



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

Martin Philippe

Modélisation Hydrologique Différentielle du fonctionnement des hydrosystèmes karstiques de la Sainte Baume (B. du Rh., Var; France); réflexions sur l'utilité de mesures anciennes réanalysées avec un nouveau modèle (MHD)

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

Vol. (v), No. 1, September 2020, pp.11-24

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



# Modélisation Hydrologique Différentielle du fonctionnement des hydrosystèmes karstiques de la Sainte Baume (B. du Rh., Var; France); réflexions sur l'utilité de mesures anciennes réanalysées avec un nouveau modèle (MHD)

Martin Philippe 1

<sup>1</sup> Université d'Avignon, UMR ESPACE 7300 du CNRS, 74 Rue L. Pasteur, 84029 Avignon cedex

#### Résumé

Le massif karstique pyrénéo-provençal de la St Baume (B. du Rh, Var; France) a fait l'objet, dans les années 80 de mesures hydrologiques, hydrochimiques et de vulnérabilité à la pollution (Coulier Ch. 1985, Martin Ph., 1991.a). Ces travaux ont permis une description sur plusieurs cycles des modalités de fonctionnement des différents hydrosystèmes. Une grande variété de comportements hydrologiques a été établie pour ces systèmes karstiques drainés par les sources des versants ouest et nord du massif, depuis le vallon de Saint-Pons (Gémenos) jusqu'aux gorges du Caramy (Tourves). La nouvelle Modélisation Hydrologique Différentielle qui a été conçue et formalisée à partir de l'exemple de la Fontaine de Vaucluse doit maintenant être testée avec d'autres données. Celles acquises sur la St Baume permettent de le faire. À partir des connaissances disponibles, l'article rend compte des apports de la MHD à la connaissance de ce massif. Il précise la façon dont la MHD peut venir compléter les approches classiques (ajustements de modèles descriptifs, relations entre fonctionnement et morphologie, analyses corrélatoires et spectrales simples et croisées...). Ces connaissances hydrologiques anciennes et nouvelles doivent aussi être replacées dans un cadre néotectonique nouveau. Il s'agit ainsi d'exploiter à nouveau des chroniques anciennes dont nous faisons l'hypothèse qu'elles contiennent des informations passées inaperçues et/ou inexploitées qui seront utiles à la gestion future de cet espace devenu un parc naturel régional. Au-delà, il s'agit de reposer le problème du rapport entre les mesures, qui sont les seules à contenir des informations brutes, mais dont la bancarisation est difficile et actuellement mal assurée, et les plus-values additionnelles qu'apportent les modélisations successives. Les données anciennes sont généralement peu utilisées, car elles n'ont pas été acquises avec les techniques les plus modernes. Elles présentent donc des limites qui appellent des approches appropriées, en particulier statistiques. Le MHD est aussi un pas en ce sens. S'il est évident qu'elles ont été acquises dans un cadre technique et paradigmatique différent rien ne dit qu'elles ne puissent être utiles pour tester de nouvelles modélisations ou conceptions, pour des comparaisons à quelques décennies de distances et donc pour une évaluation de l'évolution à long terme de situations environnementales.

La perte, trop souvent observée de données, est, non seulement, une perte financière et de temps évidente, mais aussi une perte irremplaçable d'informations. Les efforts faits actuellement pour retrouver les mesures de précipitations des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles montrent bien l'importance que peuvent acquérir de telles données anciennes bien après leur collecte. Les karstologues auraient donc tout intérêt à réfléchir à une sauvegarde de ces informations endo et exokarstiques, souvent acquises avec beaucoup de difficultés en raison du milieu abordé.

Mots clés: Karst, hydrologie, Provence, fonctionnement karstique, sources, données anciennes

Differential Hydrological Modelling of the functioning of the karstic hydro systems of the Sainte Baume (B. du Rh., Var; France); Reflections on the usefulness of old measurements reanalysed with a new model (DHM)

### Abstract

The Pyrenean-Provencal karstic massif of St Baume (B. du Rh, Var; France) was the subject of the hydrological, hydro chemical and pollution vulnerability measurements in the 1980s (Coulier Ch, 1985, Martin Ph., 1991.a). This work enabled a description over several cycles of the operating methods of the various hydro systems. A wide variety of hydrological behaviours has been established for these karstic systems drained by the springs on the western and northern slopes of the massif, from the St-Pons valley (Gémenos) to the Caramy gorges (Tourves). The new Differential Hydrological Modelling that has been designed and formalised based on the example of the Fontaine de Vaucluse now needs to be tested with other data. Those acquired on the St Baume allow this to be done. Based on the available knowledge, the article gives an account of the contributions of the DHM to the knowledge of this massif, It specifies how DHM can complement classical approaches (adjustments of descriptive models, relations between functioning and morphology, simple and cross-spectral correlational and spectral analyses...). His old and new hydrological knowledge must also be placed in a new neotectonic framework. It is thus a question of reusing old chronicles, which we hypothesise, contain unnoticed and/or unexploited information that will be useful for the future management of this area that has become a regional nature park. Beyond this, the problem of the relationship between the measurements, which are the only ones containing raw information but which are difficult to bank and currently poorly secured, and the additional added value provided by successive modelling must be addressed. Older data are generally little used because they were not acquired with the most modern techniques. They therefore have limitations that call for appropriate approaches, particularly statistical ones. MHD is also a step in this direction. While it is obvious that they were acquired in a different technical and paradigmatic framework, this does not mean

Key Words: Karst, hydrology, Provence, karstic functioning, sources, old data

Page 11

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: <a href="mailto:philippe.martin@univ-avignon.fr">philippe.martin@univ-avignon.fr</a>

### 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 I - Septembre 2020

Martin Philippe/ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 11-24

### INTRODUCTION

Le massif de la St Baume est l'un des reliefs altiers les plus emblématiques de la basse Provence carbonatée. À cheval sur les départements des Bouches-du-Rhône et du Var il s'élève jusque vers une altitude de I 100 m au niveau de la Haute Chaîne qui domine, au nord, le plateau du Plan d'Aups et au sud le poljé de Cuges, et le circuit automobile du Castelet. C'est un massif entièrement sédimentaire dans lequel les écoulements d'eau (pluie, mais parfois issus de fontes de neiges) se font à la fois en surface, en particulier à l'est (Caramy) et par des cheminements souterrains dont l'aven du Petit Saint Cassien, qui s'ouvre au niveau du Plan d'Aups, et le réseau Sabre qui s'étend sous le plateau de Mazaugues, sont les plus importants exemples. C'est donc un massif karstique, apparemment différentiellement karstifié (Nicod J., 1967).

Des travaux assez récents (Tassy A., 2012) montrent que ce massif a dû être l'objet de mouvements tectoniques, d'un soulèvement différentiel selon un axe nord-est – sud-ouest qui conduit à exacerber à la fois l'élévation globale (soulèvement généralisé) et un potentiel karstique différentiel entre le nord-est soulevé et le sud-ouest en position stable ou légèrement déprimée, ce que la topographie ne montre pas vraiment en raison de l'existence à l'ouest de la Haute chaîne et à l'est de « bas » plateaux. Lesquels auraient été encore plus bas sans ce mouvement de bascule. On peut d'ailleurs voir dans le réseau Sabre et le fonctionnement de la source de la Figuière des traces de cette situation avant ces mouvements tectoniques, lesquels pour l'essentiel ne remonteraient pas plus loin que le Pliocène (Tassy A., 2012, p. 307). Plus à l'ouest, au niveau du Plan d'Aups, l'aven du Petit St Cassien, la grotte de la Castelette et la Foux de Nans par exemple doivent être réinterprétés en fonction de ces nouvelles connaissances. Pour notre part nous essayerons de réanalyser nos résultats des années 80 à l'aulne de ces données.

L'histoire géologique du massif de la St Baume est donc longue et complexe. Il appartient à la catégorie des reliefs dits pyrénéo-provençaux, très largement issus d'une série sédimentaire, essentiellement d'âge secondaire, qui a glissé (nappe) du sud vers le nord et a formé des plis dont il ne reste, dans certains cas, qu'un des flans couchés. Tel est le cas de la Haute Chaîne qui se présente comme une série renversée (les couches les plus récentes sont sous les plus anciennes). Ce karst est drainé par toute une série de sources depuis celle de Saint-Pons dans le vallon paysager du même nom à l'ouest, près de Gémenos, jusqu'à celle de la Figuière dans les gorges du Caramy à l'est, près de Tourves. Entre, comme source du Cauron il faut noter la présence de la Foux de Nans au fonctionnement très temporaire, mais particulièrement brutal. Le versant sud lui ne possède pas de sources importantes ce qui ne manque pas d'interroger et conduit à faire l'hypothèse qu'une partie des eaux tombées sur le massif de la St Baume pourrait ressortir en mer par des sources sous-marines. Le bilan globalement déficitaire réalisé dans les années 1980 irait aussi dans ce sens (Martin Ph., 1991.a.b.c.d.e, 1992, 1993).

Si la Foux de Nans est une source qui fonctionne par « crevaison », il n'en est pas de même de la source de Saint-Pons (associée à une galerie drainante). Cette source a un fonctionnement très régulier avec une entrée en crue très progressive et une décrue, puis un tarissement, très lents. Ceci ne manque pas d'interroger puisque son bassin versant s'étend sous la terminaison occidentale de la Haute Chaîne, laquelle s'élève de plus de 1 000 m au-dessus de la source. Peut-être faut-il voir dans la possibilité qu'ont ces eaux de déposer une charge dissoute de carbonates assez près de l'exutoire actuel la conséquence de ce fonctionnement curieux en milieu karstique, que ces dépôts renforcent peut-être? Ces dépôts sous la forme de travertins biogéochimiques (Martin Ph., 1986) ont donné lieu à la constitution de petits barrages à l'arrière desquels au moins des vasques et peut-être de petits lacs ont pu se former. En se comblant ils ont donné lieu à des plans d'autant plus remarquables, en cette Provence aride au relief chahuté, qu'ils pouvaient être irrigués par les eaux de la source, ce que n'ont pas manqué de faire, semble-t-il, des moniales cisterciennes qui auraient élevé des chevaux et qui ont engagé la construction d'un édifice religieux, dont, en particulier, une nef collatérale qui reste visible dans cet espace aujourd'hui public qui appelle toutefois à la méditation.

Le massif de la St Baume est donc un haut lieu patrimonial, touristique et hydrologique, voire karstique, pour lequel il conviendrait de conserver toutes les mesures ou observations qui y ont été effectuées. On peut penser que les programmes actuels ont ce souci. Il n'en fut pas de même dans les années 70 – 90 durant lesquelles les mesures étaient plus difficiles à réaliser, moins nombreuses et moins précises que celles qui sont faites actuellement. Le but était alors bien plus de décrire de nouveaux fonctionnements ou phénomènes que de bancariser des données. La St Baume dans les années 80 – 90 apparaissait comme un massif karstique hydrologiquement peu étudié, même si elle possédait des seuils en béton assez sophistiqués sur la haute Huveaune et le haut Caramy en raison des crues éclair de ces rivières. Son fonctionnement a commencé à être mieux connu au travers de deux thèses (Coulier Ch., 1985; Martin Ph., 1991.a) durant lesquelles de nombreuses données ont été produites, mais qui n'ont pas donné lieu à un archivage systématique. Or il apparait aujourd'hui que ces observations, données, mesures, etc. vont très certainement disparaitre avec la fin de la vie professionnelle de leurs auteurs. Ceci ne serait pas un problème si elles ne recelaient pas vraisemblablement des informations passées inaperçues que de nouveaux traitements pourraient révéler.

Par ailleurs il est clair que ces données quelles que soient leurs limites et leurs défauts, ne pourront plus jamais être acquise de nouveau. On ne remonte pas le temps. Et si en hydrodynamique on peut peut-être avancer une hypothèse de stationnarité, cela est plus discutable en ce qui concerne la chimie des eaux qui peut avoir évolué en fonction de pCO<sub>2</sub> liées

### 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

Martin Philippe/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 11-24

à la croissance de la végétation. Cela l'est encore moins pour ce qui est d'analyses bactériologiques réalisées alors que le massif était extrêmement peu occupé et parcouru. Dès lors on peut penser que 25 ans plus tard, ces données peuvent avoir une utilité et que cela sera a fortiori vrai dans 50 ou 100 ans. Sans pouvoir vraiment apporter de solutions à ce problème, il nous parait qu'il doit être posé. Pour appuyer l'idée que ces données peuvent encore fournir une information utile, nous allons appliquer à ces chroniques de débits des années 80 un nouveau modèle hydrologique différentiel qui a, en particulier, été pensé pour des données de ce type, de résolution temporelle grossière (débits moyens journaliers) et qui ont été acquises avec des matériels un peu anciens, confiés à des doctorants (limnigraphe à flotteur et à tambour enregistrant sur papier les hauteurs d'eau).

Notre objectif est donc double dans ce texte : attiré l'attention sur des données anciennes qui pourraient se révéler fort utiles et tester avec de telles données le MHD pour voir s'il permet de retrouver certaines conclusions portées il y a 25 ans en usant d'autres méthodes. Se faisant il démontrerait son utilité pour des données et des situations plus actuelles, voire permettrait d'aboutir à d'autres idées.

### Le Modèle Hydrologique Différentiel (MHD)

La Fontaine de Vaucluse est une source karstique vauclusienne qui a depuis longtemps attiré l'attention (Martin Ph., Kabo R., 2015). On dispose donc pour cette source de longues chroniques de débits (quasiment non lacunaires) qui s'échelonnent de 1877 à l'actuel, mais qui sont de qualité variable et croissante avec le temps. La correction de ces débits a été engagée, mais n'est pas actuellement totalement satisfaisante (Cognard-Plancq A. L. et al., 2006.a.b). Pour pouvoir envisager d'extraire de l'information sur la série la plus ancienne (1877 – 1946) il faut disposer d'outils. C'est un des objectifs du MHD : aborder de façon statistique ces informations, plus ou moins fiables, de façon à « moyenner » les erreurs et les approximations liées aux méthodes anciennes.

Globalement et historiquement l'information la plus disponible et la plus fournie est celle des débits. C'est donc à partir de cette variable que nous avons conçu notre modèle. Lequel semble toutefois adapté à des études piézométriques, à des débits de surface et peut-être à d'autres variables comme la température de l'eau (travaux en cours). Le débit peut toutefois être compris comme une variable très intégratrice, laquelle est le produit d'une charge et d'une capacité de transit et de transfert de pression en tous lieux et à tout moment de l'aquifère, modulo les pertes de charge. Le débit est donc lié à l'état d'imbibition d'un aquifère. Lequel état doit pouvoir être décrit.

Ainsi pour aller plus loin dans l'étude de tels hydrosystèmes karstiques, il est indispensable de pouvoir faire une étude statistique des états d'imbibition d'un aquifère (du moins tels que nous pouvons les apprécier d'abord au travers des débits) en mettant en œuvre la résolution temporelle la plus fine disponible (débit moyen journalier). C'est ce à quoi dans ce texte s'attache le MHD basé sur l'idée de différentiation et sur le principe de covariance.

Le débit traduit donc, dans une certaine mesure, la présence plus ou moins importante d'un volume d'eau dans l'aquifère, car il faut aussi prendre en compte que, dans les karsts, les mises en charge sont souvent locales (dans des galeries, des puits... mais pas dans toutes les anfractuosités, sauf au bout d'un temps très long et pour des parties basses généralement (zones noyée et vadose). Elles ne correspondent pas à un remplissage total du volume karstique (vides de roche, quelle qu'en soit l'origine : détente, expansion, érosion...) existant sous la limite supérieure atteinte par l'eau en phase de crue, contrairement à ce qui peut se passer dans un aquifère de nappe à matériaux souvent détritiques (alluvions...) dont la porosité est plus ou moins homogène et la continuité hydraulique bien plus régulière dans toutes les directions (isotropie). Ce volume empli d'eau correspond donc à un état d'inhibition de l'aquifère qui doit pouvoir être approché par le calcul d'un indice dit volumique (Iv) pouvant être déterminé (ici, en première analyse avec des débits moyens journaliers) à différents pas de temps, mais dont le plus fin théorique correspond à la résolution de l'information, en fait au double de la résolution puisqu'il faut deux pas pouvoir faire une différence.

Un tel indice volumique peut être vu comme traduisant le rapport entre les entrées et les sorties de l'aquifère, sous la contrainte de la géométrie karstique fonctionnelle (niveau et zone plus ou moins remplie) envisagée ci-dessus qui dépend elle-même de la géométrie morphologique du dit karst, laquelle dépend d'éléments structuraux (géologiques : lithologie, fracturation...) et de la paléogéographique du karst considéré (aplanissement, évolution du niveau de base, cavernement, remplissage...). Dans le cas de la St Baume, il semble aujourd'hui nécessaire d'introduire en plus des mouvements tectoniques différentiels assez importants (Tassy A., 2012).

Par construction, cet indice peut être étudié chronologiquement, et/ou spatialement, et/ou statistiquement. En théorie, il devrait pouvoir être mis en rapport avec la variation de la charge approximée localement par la mesure d'un niveau piézométrique mesuré in situ (dans les cavités du plateau atteignant la zone noyée) par un Luirographe par exemple ou une sonde ad hoc (type: miniDiver, Solinst, Hobo...).

Martin Philippe/ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 11-24

### Discrétisation et différenciation

Le MHD est issu du modèle de Maillet, des modalités de calcul du coefficient de tarissement et de celles de calcul du volume dynamique (Martin Ph., soumis). Pour la Fontaine de Vaucluse, mais aussi pour d'autres sources il apparait une variation du coefficient de tarissement au fil des récessions, ou des tarissements. Dès lors il n'est plus possible d'avoir un seul paramètre ( $\alpha$ ) et il faut recourir à d'autres modèles de décroissance des débits comme le modèle de Horton qui est une double exponentielle à deux paramètres (a et m). Ceci peut parfaitement être pratiqué, mais conduit à mettre en œuvre différents modèles qui ne sont pas, ou difficilement, reliables entre eux, afin de comparer diverses situations, différents exutoires karstiques. Pour contourner ce problème, l'une des solutions est de discrétiser l'information et de modéliser statistiquement sa variation. C'est ce que se propose de faire le MHD. On va donc essayer de rendre compte de variations limitées entre deux pas, au travers de leur statistique.

L'idée qui sera mise en œuvre ici, consiste donc à discrétiser la mesure hydrologique, puis à quantifier l'état de l'aquifère à partir de deux valeurs consécutives (différenciation), afin d'étudier la variation du rapport ainsi établi, au mieux, de pas de mesure en pas de mesure. En répétant cette opération, on peut établir une statistique dont le modèle devrait pouvoir caractériser l'état de l'aquifère de façon générale, si on considère toutes les données disponibles, et de façon particulière, si on considère certaines phases. Certaines variations caractérisant des situations de hautes eaux et d'autres de basses eaux.

Le Modèle Hydrologique Différentiel (MHD) auquel nous sommes arrivés permet de calculer un indice, ici au mieux journalier, dit  $Iv_b$  (avec b pour : baisse des débits). Cette solution résout les problèmes de calage très classiques lorsque l'on essaye de décrire une phase hydrologique particulière puisqu'il n'y a aucun choix à faire si on considère l'ensemble de la chronique à part repérer les étiages afin de découper des cycles. Dès lors on devrait pouvoir décrire n situations locales avec le même modèle et obtenir des comparaisons plus robustes. Dans cette perspective il convient d'envisager l'applicabilité du MHD dans différentes situations, y compris pour des données anciennes de qualité limitée, mais aussi de voir son application à d'autres variables (travail en cours). Ces approches permettront de tester la validité de cette description et fourniront des indications sur l'interprétation des paramètres.

Afin d'obtenir des relations linéaires dans le cas des tarissements des cycles de la Fontaine de Vaucluse, il nous est apparu nécessaire de remplacer le modèle exponentiel par un autre modèle en introduisant le logarithme du temps au dénominateur (Martin Ph., soumis). C'est en fait le changement principal outre la réduction du pas de calcul. Ceci conduit à introduire un pas de temps variable au fil du temps des phases hydrologiques. D'une certaine façon la résolution de l'observation du phénomène diminue avec la progression du phénomène, le déroulement par exemple d'un cycle.

### MHD et calcul de l'indice ly

En formalisant la logique ci-dessus évoquée et en nous fondant sur la forme de l'équation du volume dynamique, nous proposons un indicateur de la forme (Martin Ph., soumis) :

$$Iv_b = \ln\left(0.0864 \frac{Q_t}{\frac{[\ln(Q_t) - \ln(Q_{t+1})]}{[\ln(t_{t+1}) - \ln(t_t)]}}\right) \tag{1}$$

t, étant le premier jour de la phase hydrologique considérée choisie pour chaque calcul, généralement le cycle, mais ce peut être une pointe de crue initiant une récession de fin de cycle, etc.

 $t_{t+1}$  étant le dernier jour de la période hydrologique choisie pour chaque calcul.

0,0864 est la constante de temps qui a été divisée par 10 000 pour des raisons de praticité.

Le premier calcul est effectué de  $Q_t$  (débit au moment initial t) à  $Q_{t+1}$  (débit au moment suivant t+1 dépendant de la résolution de l'information) soit ici sur 48 h ou 2 jours si l'information est sous la forme de débits moyens journaliers, mais tout pas de temps peut être utilisé. Le calcul est ensuite séquentiel. Comme le début d'un cycle est le moment postérieur à l'étiage au sens strict  $Q_t$  doit correspondre à ce moment, pour une étude de cycles.  $Q_{t+1}$  correspondra au second jour de chaque cycle, etc. Mais  $Q_t$  peut être aussi le jour de pied de crue pour une étude des montées de crue ( $Iv_m$ ), ou une pointe de crue pour une récession, etc. L'indice  $Iv_b$  peut donc être décliné en fonction des conditions hydrologiques.

L'écart entre  $Q_t$  et  $Q_{t+1}$  dépend de la résolution de la mesure, ou de toutes autres (information dégradée) qui seraient calculées à partir de la résolution initiale. Ceci est particulièrement possible si la résolution de mesure est très fine (5 mn par exemple). La variation de la statistique des  $Iv_b$  (ou  $Iv_m$ ) en fonction de la dégradation de l'information reste à étudier. Il est aisé de voir que cet indice n'est pas calculable si les débits sont égaux. De même sous cette forme (éq. I) il ne peut correspondre qu'à des baisses de débit. Pour rendre compte des hausses, il suffit d'intervertir In ( $Q_t$ ) et In ( $Q_{t+1}$ ). On obtient alors un indice sur les montées de crues dit :  $Iv_m$ . Le numérateur du dénominateur du MHD traduit donc la façon dont

Martin Philippe/ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 11-24

varient les écarts des logarithmes de débits consécutifs et le dénominateur du dénominateur la façon dont varient les écarts des logarithmes de temps successifs, cela au fil de la progression d'un cycle par exemple.

En d'autres termes, quand la variation des débits est forte (phase de décrue de crues de début de cycle par exemple) l'écart des logarithmes des temps correspond généralement à une valeur relativement importante. Par contre lorsque la variation des débits est faible (phase finale de cycle) l'écart des logarithmes des temps correspond à une toute petite valeur. Ainsi par exemple  $\ln(2) - \ln(1) = 0.693$ , mais :  $\ln(250) - \ln(249) = 0.004$ . La valeur de l'écart temporel diminue donc de 0,69 à presque 0 lorsque t tend vers l'infini. Nous avons donc là en fait deux fonctions, l'une pour les débits, l'autre pour le temps, qui sont comparées pas à pas. Ce modèle a été appliqué aux cycles disponibles de certaines sources de la St Baume : Source de Saint-Pons Galerie drainante de Saint-Pons, Encanaux supérieurs, Font Alaman, Cauron (Foux de Nans et source des Filles), source de la Figuière.

### Qualité des données et stabilité structurelle des distributions

L'ensemble de ces données a été acquis par Ch. Coulier de 1983 à 1984 (Sce de Saint-Pons et Galerie, Encanaux supérieur et Cauron) puis par Ph. Martin (source de Saint-Pons et Galerie, Encanaux supérieur et Cauron, Font Alaman, et source de la Figuière) de 1984 à 1986, sauf pour la Font Alaman qui a été suivie après (1986 – 1991) et sur la base d'un suivi personnel des limnigraphes qui avaient été prêtés par le SRAE (Service régional d'aménagement des eaux) d'Aix-en-Provence. Ces matériels étaient des limnigraphes à flotteur et à tambour avec un enregistrement papier de marque OTT pour certains (Fig.1). Les jaugeages étaient faits grâce à un micromoulinet à hélices prêté aussi pendant plusieurs années par le SRAE. Tous les dépouillements ont été réalisés par les deux doctorants lors de leur travail de thèse. Ces conditions conduisent à disposer de données assez grossières (débits moyens journaliers), mais très homogènes quant à leur production et non lacunaire

ш





Fig. 1 – Face nord de la chaîne de la St Baune lors de l'hiver 1984 – 1985 et source de Saint-Pons en été équipée d'un limnigraphe à papier OTT (Crédit photo Ph. Martin).

Martin Philippe/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 11-24

Le pas de temps journalier a été « imposé » par la résolution de l'enregistrement (le cylindre faisait un tour en une semaine), la taille de la plume et la qualité du papier qui « buvait » un peu l'encre. Il aurait été (et il est peut-être encore) possible à partir des bandes conservées d'atteindre une résolution temporelle de quelques heures (4 ?). Ces conditions techniques, aujourd'hui totalement dépassées, conduisaient à installer le pas de temps de la journée comme le « bon » découpage temporel. Le matériel aujourd'hui disponible, qui autorise des résolutions temporelles bien plus fines, montre qu'il existe des phénomènes fugaces, qui ne sont pas sans intérêt, et que seule une résolution à la minute, ou presque, permet de voir. Ces données, par rapport aux standards les plus actuels, sont donc assez grossières. Il est donc intéressant de voir comment le MHD peut en rendre compte et retrouver, ou non, les fonctionnements connus par ailleurs par d'autres approches.

Plus tard, il conviendra, à partir de chroniques par exemple à 15 mn nouvellement acquises, de leur appliquer le protocole MHD, puis de les dégrader (pas à 1 h, 4 h, 1 jour, par exemple) afin de voir d'une part la stationnarité des fonctionnements et d'autre part le rôle joué par le pas dans les résultats. Nous pourrons ainsi voir si ceux-ci varient selon une loi, ce qui traduirait un comportement hydrodynamique fractal, c'est-à-dire une structuration dans l'ordre des échelles de temps ; les chroniques peuvent être fractales, quelles que soient les échelles de temps, mais de moins en moins au fur et à mesure que le pas de temps augmente.

#### APPLICATION AUX SOURCES DE LA SAINTE-BAUME

L'application du MHD est globalement satisfaisante sur les séries disponibles. Dans la mesure où nous ne disposons pas d'un nombre suffisant de cycles par source pour faire une analyse diachronique à cette échelle, nous n'irons pas plus loin dans ce sens. Cela étant, il faut s'interroger sur le type et le mode de variation d'Ivb au cours des différents cycles des différentes sources. Il apparait possible de faire, avec toutes les valeurs d'Iv<sub>b</sub> calculées pour chaque source, une statistique dont la distribution peut théoriquement être recherchée. La modélisation générale réalisée, pour toutes les sources, sous cette forme, est bonne. Ceci conduit à établir comme globalement gaussiennes ces distributions. Nous pouvons donc caractériser ces sources par la moyenne et l'écart type des Iv<sub>b</sub>. Il convient ensuite d'essayer de rapprocher ces descripteurs d'autres indicateurs de fonctionnement de ces systèmes karstiques.

#### La Font Alaman

La Font Alaman (Fig.2) présente pour le cycle 1988 – 1989 un assez bon ajustement. L'ensemble des Iv<sub>b</sub> calculés sur les cycles de 1986 à 1991 correspond une distribution gaussienne (Fig.3). Seules quelques très fortes valeurs de Ivb s'écartent de la droite de Henri.

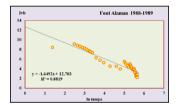
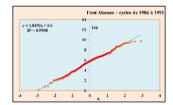


Fig.2 – Ajustement d'un modèle de puissance sur les valeurs de Ivb du Fig.3 – Ajustement d'une droite de Henri sur les cycle 88-89 de la Font Alaman



valeurs de Ivh de l'ensemble des cycles de la Font Alaman entre 1986 et 1991

### La source de la Figuière

Le cycle 1984 – 1985 de la source de la Figuière livre un assez bon ajustement à un modèle de puissance (Fig.4), même s'il apparait une légère courbure dans la répartition des points.

Martin Philippe/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 11-24

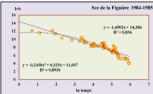


Fig.4 – Ajustement de modèles de puissance sur les valeurs de  $Iv_b$  du cycle 84-85 de la source de la Figuière



Fig.5 – Ajustement d'une droite de Henri sur les valeurs de  $lv_b$  de l'ensemble des cycles de la source de la Figuière entre 1984 et 1986.

La statistique des valeurs de  $Iv_b$  déterminées sur l'ensemble des cycles (Fig.5) correspond assez bien à un modèle gaussien comme le montre l'ajustement de la droite de Henri. Dans le détail il apparait une « ondulation » qui traduit une distribution à deux maxima. En fait cette distribution globale subgaussienne est une combinaison de deux distributions. Ceci est conforme à ce que nous savons du fonctionnement de cette source à partir, par exemple, de sa fonction d'intercorrélation (corrélogramme croisé pluies - débits). Ce dernier, comme réponse impulsionnelle du système, fait apparaître deux régimes. L'un correspond à une réponse rapide et forte peu après les pluies (effet karstique lié à un réseau bien établi, spéléologiquement explorable). L'autre à une réponse lente qui permet le maintien de débits assez moyens après la crue et qui avait été rapproché de l'existence de formations crétacées gréseuses. Il faut peut-être aujourd'hui ajouter une réadaptation encore insuffisante du réseau de drainage le plus bas, à la suite de la néotectonique mise en évidence assez récemment.

### La source de Saint-Pons (de l'Abbaye et Galerie drainante)

Les valeurs de  $IV_b$  du cycle 84 – 85 calculées sur la somme des débits journaliers de la source et de la galerie drainante s'ajustent pas très bien à un modèle puissance simple (Fig.6), en raison d'une courbure manifeste. Elle est d'ailleurs plus forte avec les valeurs issues des seuls débits de la source. Sur la base de ce que nous avons dit pour la Figuière, cette courbure doit vraisemblablement être mise en relation avec le caractère extrêmement pondéré de cette émergence qui a un fonctionnement quasiment de nappe. Donc plus le système est karstique au sens d'un drainage efficient correspondant à un réseau optimal, mais sans plus (pas sur dimensionné), plus la relation  $IV_b$  vs ln (t) est conforme à un modèle de puissance simple. Les fortes valeurs de  $IV_b$  de début de cycle (phase de recharge) qui correspondent à des baisses assez rapides du débit ne se rencontrent pas avec ce type de fonctionnement. La montée des crues est lente et donc longue, ce qui tend à déporter les premiers points dans la figure 6 vers la droite.

Lors de certains cycles (1984 – 85 par exemple) à la source on observe une quasi-stabilité des valeurs de  $I_{VD}$  entre 8 et 10, puis un effondrement de sa valeur en fin de cycle. Mais le cycle 84-85 a été particulier. Il s'est terminé fin novembre 1985 en raison de pluies automnales particulièrement tardives. Ces éléments confortent l'idée d'un système mal drainé. La courbure mise en évidence pourrait donc être interprétée comme l'indice d'un drainage difficile vers les exutoires karstiques. Comme si, malgré la hauteur de chute observable de la Haute chaîne au fond du vallon, ce système ne pouvait donner lieu à un drainage fonctionnel comparable à celui de la Foux de Nans ou de la Figuière. Si tel est le cas, le coefficient de courbure du modèle parabolique traduirait un écart à un drainage de type karstique efficient (drains hiérarchisés de taille croissante bien connectés qui produisent des crues rapides et fortes).

Si on intègre l'idée d'un basculement progressif de la Provence carbonatée et de la St Baume en particulier (Tassy A., 2012) du nord-est vers le sud-ouest, on peut penser que la Figuière doit plutôt être en train de réajuster son réseau de drainage remis en cause par une néo tectonique positive, et que la source de Saint-Pons est marquée par une néotectonique négative qui doit rendre plus difficile l'écoulement de l'eau. Ceci ayant pour conséquences, aux moins relatives, les importants dépôts de travertin qui comblent le vallon de Saint-Pons et qui débutent près de la source. Ces dépôts ont en outre certainement joué un rôle dans l'obstruction de sorties d'eau comme semble l'indiquer la galerie drainante qui les recoupe.

Martin Philippe/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 11-24

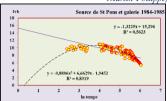


Fig.6 – Ajustement de modèles de puissance sur les valeurs de *Iv*<sub>b</sub> du cycle 84-85 sur la somme des sorties d'eau (source + galerie) dans le vallon de Saint-Pons.

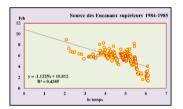


Fig.7 – Ajustement d'une droite de Henri sur les valeurs de  $Iv_b$  de l'ensemble des cycles de la source de Saint-Pons et de la Galerie drainante entre 1984 et 1986

La totalité de la série des  $Iv_b$  calculés lors des cycles enregistrés entre 1984 et 1986 montre un caractère gaussien assez évident (Fig.7). Seuls quelques points s'écartent de la droite de Henri aux extrémités.

### Source des Encanaux supérieurs

Avec la source des Encanaux supérieurs apparait une variabilité certaine (Fig.8), mais qui est contenue dans un canal assez étroit. Il n'y a pas de courbure. Cela renvoie aux modalités de fonctionnement de cette source à crues notables et récessions assez rapides, ce qui correspond à un aquifère bien drainé et qui est en lien avec un réseau spéléologiquement exploré.



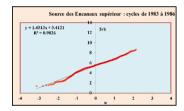


Fig.8 – Ajustement d'un modèle de puissance sur les valeurs de  $Iv_b$  duFig.9 – Ajustement d'une droite de Henri sur les cycle 84-85 de la source des Encanaux supérieurs. valeurs de  $Iv_b$  de l'ensemble des cycles de la source des Encanaux supérieurs entre 1983 et 1986.

Si l'ajustement pour les valeurs de  $Iv_b$  comprise entre -1 et 4 sigma est tout à fait conforme à la droite de Henry, les faibles valeurs de  $Iv_b$  entre -3 sigma et -1 sigma suivent cette loi de façon plus incertaine (Fig.9). Cela est peut être lié à une autre sortie d'eau située plus bas dite Encanaux inférieur, mais qui n'a pas été instrumentée. Seul un suivi hebdomadaire a été réalisé.

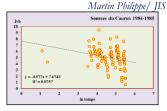
### Les sources du Cauron : Foux de Nans et sources des Filles

Les sources du Cauron — la Foux de Nans quand elle fonctionne et les sources des Filles qui doivent en être un sous écoulement — livrent une variation de  $Iv_b$  en fonction du temps assez particulière (Fig.10). On observe une grande dispersion, mais pas de courbure. Les alignements subverticaux de points correspondent à des récessions assez rapides et les points extrêmes pour chacune de ces phases à des taux de variation du débit forts, en particulier pour les points les plus hauts, mais faibles pour les points les plus bas. Ce qui est remarquable ici c'est l'écart entre ces points hauts et bas. Il marque très certainement le caractère karstique de cette source (crues majeures et débits faibles ou nuls d'été).

L'ampleur de la variation des  $lv_b$  correspond donc à l'ampleur de la variation des débits du pied de crue à la pointe de crue et de la pointe de crue à la fin de la décrue, selon les phases étudiées.

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

ISSN (electronic): 1737-9350, ISSN (printed): 1737-6688; Volume (V) - Numéro I - Septembre 2020



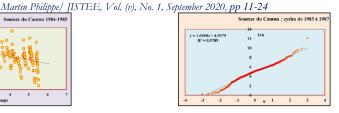


Fig. 10 – Ajustement d'un modèle puissance sur les valeurs de  $Iv_b$  duFig. 11 – Ajustement d'une droite de Henri sur les cycle 84-85 des sources du Cauron. valeurs de Ivb de l'ensemble des cycles des sources du Cauron entre 1983 et 1986.

En d'autres termes, plus la source modélisée connaît de brusques montées de débit et de tout aussi rapides baisses qui viennent mourir sur de très faibles variations de débit en fin de récession, plus la dispersion des points caractérisant chaque phase du cycle sera forte. Cette dispersion peut donc être considérée comme traduisant une forte karstification fonctionnelle. On voit ainsi comment elle croit de la Font Alaman ou de la Figuière où elle est faible, aux Encanaux supérieurs et aux sources du Cauron, où elle est forte. Malgré cette dispersion des valeurs de Ive, nous obtenons un graphique (Fig. I I) qui montre un assez bon ajustement de la distribution à la loi de Henri. Les extrémités entre -3 et -2  $\sigma$ et entre 2 et 3  $\sigma$  sont toutefois assez mal ajustées, mais les données de cet ordre sont peu nombreuses. La forme de la partie de l'alignement vers -3 -2  $\sigma$  laisse penser qu'il y a pour les valeurs de l $v_b$  correspondantes une petite distribution spécifique qui pourrait être étudiée.

Arrivés à ce stade il faut considérer pour chaque source, la valeur de la moyenne et celle de l'écart type de ces distributions gaussiennes. Ces paramètres peuvent être rapprochés d'autres indicateurs du fonctionnement hydrologique comme nous allons le voir.

### PARAMÈTRES ISSUS DE LA MODELISATION MHD

Le MHD fournit donc un certain nombre d'indicateurs synthétiques dont il convient de préciser le sens, ce que peut nous permettre la diversité de fonctionnements karstiques du massif de la St Baume.

### Ajustement des phases hydrologiques

Les ajustements des phases hydrologiques, des cycles en particulier, mais ce pourrait être des récessions de fin de cycle, conduisent à deux valeurs (hors coefficient de détermination) : la pente du modèle de puissance et sa constante. Ces valeurs peuvent être étudiées de façon diachronique quand le nombre de phases hydrologiques disponibles est suffisant. Elles permettent aussi d'arriver à une description des états successifs d'un système karstique en calculant la surface du triangle rectangle apparaissant sous le modèle puissance qui en est l'hypoténuse. Le nombre de cycles est pour les sources de la St Baume insuffisant pour faire une telle analyse, mais elle a été réalisée pour la Fontaine de Vaucluse (Martin Ph., soumis).

### Paramètre A<sub>C</sub> de dispersion

Le MHD permet de calculer un paramètre de dispersion. Il s'agit d'essayer de caractériser la réaction du système karstique en fonction de son état d'imbibition et de l'importance des précipitations qu'il reçoit au cours de la phase hydrologique étudiée. Cela revient à se demander si le système actif de drainage lisse beaucoup (Saint-Pons) ou très peu (Foux de Nans) le signal pluie en fonction de son réseau fonctionnel de drainage et comment il le fait en fonction de l'état de ses réserves. L'hypothèse centrale étant que plus le karst est rempli, plus la réaction à une pluie, même faible, sera forte relativement (en comparaison aux autres réactions de ce même système), à ses exutoires.

Pour se faire il faut calculer les écarts (résidus) à un modèle de puissance puis sommer ces écarts par moment, ici de décroissance des débits (de la pointe de crue à la montée de crue suivante). Le plus simple est d'ajuster un modèle de puissance simple (de la forme y = ax-b) comme dans les figures présentées ci-dessus.

Toutefois, une meilleure précision est obtenue en ajustant, sur le logarithme des  $Iv_b$  en fonction du logarithme du temps (In (t)) un modèle parabolique. Ce dernier peut modéliser les courbures comme avec la source de la Figuière ou avec la somme des écoulements de Saint-Pons (source + galerie). Ceci évite de biaiser le calcul par un élément structurel, la courbure, qui se déploie à l'échelle de la phase hydrologique. On obtient ainsi une valeur minimale et une valeur maximale pour chaque récession du cycle. On recherche ensuite les valeurs minimale et maximale du cycle. On fait la somme de Martin Philippe/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 11-18

leurs valeurs absolues. On obtient ainsi une mesure de l'amplitude absolue observée sur un cycle. Nous appellerons donc cet indicateur :  $A_{C_i}$  et  $A_{R_i}$  si ce sont des récessions de fin de cycle qui sont étudiées.

Si la phase hydrologique n'est pas un cycle, mais par exemple une récession de fin de cycle, on obtient directement les valeurs du maximum et du minimum. Si on dispose de plusieurs phases hydrologiques (cycles ou récession) il semble, mais les tests sont en cours, que ce soit l'amplitude maximale obtenue lors d'une phase (cycle ou récession) qu'il faille considérer. Ceci correspond à un test maximaliste du fonctionnement du système karstique. Il n'est pas non plus impossible d'envisager une étude diachronique de cet indice à croiser par exemple avec la situation d'imbibition lors de la phase hydrologique précédente et avec l'importance et/ou l'intensité des pluies.

 $A_C$  traduit donc la façon dont un système karstique varie dans son fonctionnement entre la situation maximale de pointe de crue et, généralement, la situation minimale de fin de récession ou de tarissement. Les calculs faits sur le cycle 1984 – 1985 (et 1988 – 1989 pour la Font Alaman) sur la St Baume montrent que les valeurs de  $A_C$  s'échelonnent entre 2,4 à la Font Alaman et 20,2 aux sources du Cauron. Cette gradation correspond bien à ce que l'on sait par ailleurs du fonctionnement de ces hydrosystèmes (corrélogrammes croisés par exemple, etc.).

### Ajustement gaussien de la statistique des valeurs de lvb

Il est ensuite possible, d'étudier non-pas des phases hydrologiques particulières, voire leurs successions, mais de rechercher des paramètres significatifs pour l'ensemble des distributions des valeurs de  $Iv_b$ . Nous avons vu ci-dessus le très bon ajustement des séries statistiques de  $Iv_b$  à un modèle de Henri ce qui permet de les caractériser comme des distributions gaussiennes (ou subgaussiennes). Dès lors les paramètres du modèle régressif correspondent à la moyenne (constante de la droite) et à l'écart type de la distribution (pente de la droite).

Les graphiques ci-dessus montrent que l'une comme l'autre varie, entre 4,9 aux sources du Cauron et 8,5 à Saint-Pons et de 1,3 à Saint-Pons à 1,7 aux sources du Cauron, pour l'écart type. Donc plus le système est capacitif (Saint-Pons) plus la valeur de la moyenne est haute et plus l'écart type est bas, et inversement. Le croisement des valeurs moyennes de ces deux paramètres fait apparaitre une relation qui montre une liaison entre eux très probable même si, avec les données que nous avons, la dispersion reste forte ( $R^2 = 0,3$ ). Il devient dès lors possible de croiser un certain nombre de ces indicateurs de fonctionnement des systèmes karstiques du massif de la St Baume.

### RELATION ENTRE LA MODELISATION MHD ET D'AUTRES APPROCHES

Classiquement il est possible d'ajuster sur les phases de tarissement des systèmes karstiques un modèle de Maillet (décroissance exponentielle des débits) et de déterminer un coefficient de tarissement  $(\alpha)$ .

### Relation entre les paramètres gaussiens et des indicateurs de capacité

Le coefficient de tarissement, tout comme le volume dynamique ( $Q_0/\alpha$  \* 86400) apparaît en relation assez forte avec la valeur de la moyenne des  $Iv_b$ . Ceci montre, malgré le petit nombre de points, que la moyenne des  $Iv_b$  est un indicateur des capacités des différents systèmes karstiques (Fig. 12).

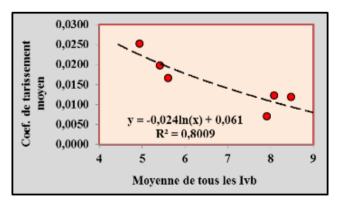


Fig. 12 – Relation entre la moyenne de tous les  $Iv_b$  et le coefficient moyen de tarissement calculé sur les différentes phases hydrologiques des différentes sources

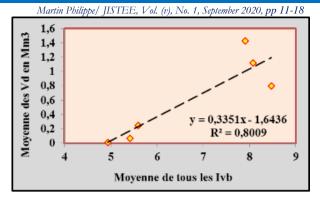


Fig. 13 – Relation entre la moyenne de tous les  $lv_b$  et le volume dynamique des différentes sources en millions de mètres cubes

De même si l'on calcule un coefficient de variation pour tous les ajustements (moyenne/écart type) des statistiques des  $Iv_b$ , il apparait pour cinq situations sur six une très bonne relation avec le débit maximal (Fig. 14). Seule la Font Alaman sort du modèle le plus général. Cette source, dont la fonction d'intercorrélation était déjà particulière, apparait encore plus singulière. Clairement soit son débit maximal devrait être proche de 3 500 l/s ce qui semble impossible vu le petit bassin qui lui est généralement attribué, soit son coefficient de variation devrait être plus bas pour entrer dans le modèle général.

Dans la mesure où nous avons vu que sa valeur moyenne des  $Iv_b$  est en relation « normale » avec les indicateurs de capacité (Fig. 12 et Fig. 13) il apparait que c'est l'écart type de cette source qui la singularise. En d'autres termes pour que cet exutoire entre dans l'épure, il faudrait qu'il soit voisin de 1,1 et pas de 1,8. Autrement dit la diversité observée des valeurs des  $Iv_b$  semble trop importante. Reste à comprendre pourquoi (Apports par des pertes...) ?

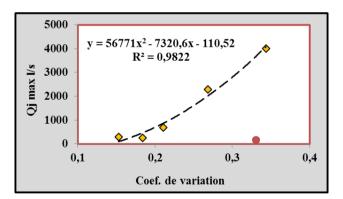


Fig. 14 – Relation entre le coefficient de variation de tous les ajustements des  $Iv_b$  (moyenne/écart type) et le débit maximal mesuré à chaque source. Le point rouge représente la Font Alaman qui est exclue de la régression.

La source de Saint-Pons a un écart type de 1,5 alors même que cette source présente de faibles pointes de crue (1,3 pour les débits associés de la source et de la galerie drainante). Il semble donc que ce soit l'existence de pointes de crue non négligeables, comme lors du début du cycle 1986 – 1987, qui conduisent à cette plus forte dispersion des valeurs des  $Iv_b$  à la Font Alaman. D'une certaine façon ces phases de crue sont inattendues par rapport au fonctionnement général de cette source. Ceci pose bien évidemment un problème quant à la karstification de ce très petit hydrosystème.

Martin Philippe/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 11-18

### Relation entre l'amplitude par cycle (Ac) et des indicateurs de transmissivité

La figure 15 montre une relation entre l'amplitude par cycles ( $A_c$ ) et le paramètre i d'A. Mangin. Rappelons que le paramètre i est obtenu par l'ajustement d'un modèle homographique après déduction des débits de base. Il représente donc une indication sur les modalités d'infiltration, de circulation rapide de l'eau dans le karst. Plus i est proche de I plus l'infiltration est lente et inversement.

De même il est possible de calculer un temps de régulation à partir des analyses spectrales. Ce temps, comme le montre la figure 16, est bien corrélé à l'amplitude  $A_C$  pour quatre systèmes karstiques (points jaunes). La source de Saint-Pons et l'ensemble source + galerie s'écartent par contre du modèle.

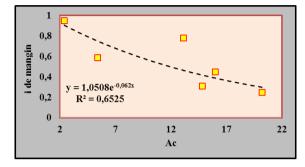


Fig. 15 – Relation entre l'indicateur  $A_C$  et l'indice i de Mangin

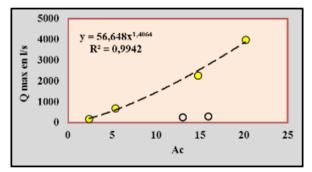


Fig. 16 – Relation entre l'indicateur  $A_C$  et le débit maximal mesuré en litre par seconde.

Ces exutoires ont soit une valeur d'Ac bien trop forte, soit un débit maximal bien trop bas. Celui-ci serait attendu autour de 2m³/s. Il est vrai qu'il manque dans ces données les débits de la source des Cabrelles qui doit fonctionner comme tropplein, mais très rarement. Il semblerait plutôt que ce soit l'écoulement de forts débits aux exutoires de Saint-Pons qui soit empêché. Ceci serait cohérent avec un basculement tectonique du massif.

### **Conclusion et perspectives**

Le MHD apparait comme un modèle relativement ubiquiste qui fournit des paramètres qui peuvent être mis en relation avec les caractéristiques de fonctionnement de systèmes karstiques variés. Ce modèle apparait donc comme assez robuste. Il permet dans le cadre de la même analyse d'avoir accès à des informations sur les niveaux de stockage et sur les modalités du drainage fonctionnel. Il reste à préciser l'éventail des valeurs qui peuvent être prises pour chaque paramètre. La diversité des situations dans le massif de la St Baume permet déjà d'en avoir une petite idée. Les interprétations sont donc à affiner. Par ailleurs, l'application possible du MHD aux chroniques piézométriques et aux écoulements karstiques de surface devra être mise en œuvre de façon spécifique ou conjointe. On peut même envisager, en complément, une application, par exemple, à des chroniques thermiques.

Pour ce qui est de la St Baume, ces analyses montrent que l'on peut améliorer, voire préciser, certains points du fonctionnement en réanalysant des chroniques anciennes. Il faudra aussi voir si les écarts aux modèles « généraux » (pour la Font Alaman en raison de crues et pour Saint-Pons en raison de l'absence de débit maximum majeur) se retrouvent

Martin Philippe/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 11-18

ailleurs et si les relations qui semblent structurelles se confirment. Toutes ces informations, et en particulier la diversité observée, sont cohérentes avec un soulèvement d'ensemble et une subsidence relative de la partie sud-ouest du massif. Ceci est en outre en accord avec les profils des talwegs levés à la main il y a bien longtemps (Martin Ph., 1991, Fig. 259, 260, 261, 262, 286 et 287). On y lit l'ampleur de l'érosion régressive dans le Caramy et ses affluents. En particulier on peut identifier dans le Caramy aval une reprise d'érosion qui contrôle le positionnement des sources les plus basses : Font noire, Figuière et Lieutaud.

Techniquement, l'une des grandes questions à aborder maintenant est celle de la transformation des résultats en fonction du pas de mesure. Existe-t-il une loi scalaire de variation des paramètres par phase (cycle, récession ou montée de crue) ou généraux (statistique des  $Iv_b$  ou  $Iv_m$ ) en fonction du pas de mesure et donc de l'échelle de la résolution de la mesure.

Par ailleurs, on peut se demander ce qu'une descente dans les échelles fera apparaître comme phénomène(s) jusque-là non perçu(s)? Ceci nécessitera avant, de régler la question du « bruit aléatoire » que génèrent les sondes utilisées actuellement, de façon notable pour certaines et plus limitée pour d'autres.

Tout ceci prouve bien la nécessité de réfléchir à comment sauvegarder ces données anciennes (et bien d'autres) qui constituent des références historiques même si aujourd'hui on peut produire des données en bien plus grande quantité et de meilleure qualité, avec, en particulier, des résolutions temporelles qui ouvrent sur d'autres problèmes.

#### Références

Cognard-Plancq A. L., Gévaudan C., Emblanch C., (2006.a), Historical monthly rainfal-runoff database on Fontaine de Vaucluse karst system: review and lessons. In Duran J.J., Andreo B., Carrasco F., (eds): Karst, cambio climato y aguas subterraneas. Publication des Instituto Geological y Minero de Espagna. Serie: Hydrogeologia y Aguas Subterraneas n° 18, p.465-475. Madrid.

Cognard-Plancq A. L., Gévaudan C., Emblanch C., (2006.b), Apports conjoints de suivis hydroclimatologique et hydrochimique sur le rôle de filtre des aquifères karstiques dans l'étude de la problématique de changement climatique — application au système de la Fontaine de Vaucluse. Proceedings of 8e conference on limestone hydrogeology, 21–23 septembre 2006, Neuchatel Switzerland – ISBN 2-84867-143-2, p.67-70.

Coulier Ch., (1985), Hydrogéologie karstique de la St Baume occidentale, Bouches-du-Rhône, Var; France. Thèse 3e cycle, Université de Provence Aix – Marseille I, 400 p.

Coulier Ch., (1986), Le karst de la St Baume (Bouches-du-Rhône et Var; France). Structure et évolution : l'approche hydrogéologique. Karstologia n° 8, p.7-12.

Martin Ph., (1986), Les travertins du vallon de Saint-Pons (Gémenos, B. du Rh.), Table Ronde : Travertins I. s. et évolution des paysages holocènes dans le domaine méditerranéen, Méditerranée, t. 57, n° 1-2, p. 92-100.

Martin Ph., (1991.a), Hydromorphologie des géosystèmes karstiques des versants nord et ouest de la St Baume (B. du Rh., Var; France). Étude hydrologique, hydrochimique et de vulnérabilité à la pollution. Thèse Université d'Aix Marseille II, 412 p., 291 fig., 68 tab. (Tirage diffusé: même document, mais présenté en 321 p.).

Martin Ph., (1991.b), Diversité de fonctionnement des aquifères carbonatés d'un karst méditerranéen drainé à 3 niveaux selon 3 orientations : le cas du massif de la St Baume (B. du R., Var ; France), Comité des Travaux historiques et scientifiques, Section géographie physique et humaine, actes du 115° Congrès national des Sociétés savantes (Avignon, 1990) : Milieux calcaires et politique hydraulique, p.39-64.

Martin Ph., (1991.c), Quantification des flux carbonatés exportés par les aquifères de la St Baume (B. du Rh., Var ; France) et estimation de la dissolution spécifique sur ce massif. Travaux de l'UA 903 du CNRS, n° XX, Aix-en-Provence, p.25-36.

Martin Ph., (1991.d), Diversité de fonctionnement et faible pollution actuelle des aquifères du karst de la St Baume ; B. du Rh., Var ; France. Colloque géologie et santé, Toulouse 14-17 mai 1991, actes du colloque, BRGM Orléans, p.178-191.

Martin Ph., (1991.e), Quantification et modélisation du fonctionnement hydrologique des principaux aquifères carbonatés du karst de la St Baume (B. du Rh., Var; France). — Actes de la Table ronde Franco – Slovène, Acta Carsologica XX, p.87-106.

Martin Ph., (1992), Quantification et modélisation du fonctionnement hydrologique de la Foux de Nans (Nans-les-Pins, Var). — Symposium « la spéléologie et l'eau », actes du XIXe Congrès national de Spéléologie, Montpellier, Spélunca Mémoire, n° 19, p. 57-70.

Martin Ph., (1993). Hydrologie du massif karstique de la St Baume. Approche systémique. Mélanges FRECAUT, Presses universitaires de Nancy, p.225-234.

Martin Ph. (1995.b), Les formes fluviatiles du massif karstique de la St Baume (B. du Rh., Var; France). Actes du 13° Symposium international de karstologie théorique et appliquée, Roumanie, Theoretical and Applied Karstology, n° 8, p.103-115.

Martin, Ph., (1996). De l'organisation des formes superficielles et souterraines du massif karstique de la St Baume (B. du Rh, Var; Fr.). Ukpic n° 8, Université de Fribourg, Suisse, M. MONBARON et S. FIERZ éditeurs, p.45-64.

Martin Ph., (1997.a), Structures hiérarchiques dans le karst de la St Baume (B. du Rh, Var; France) 12° Congrès de spéléologie, Symposium 7, Vol. I, Union internationale de spéléologie et Société suisse de spéléologie éditeurs, p. 129-132.

Martin Philippe/ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 11-18

Martin Ph., (1997.b), Dynamique non linéaire et fonctionnement hydrodynamique de l'endokarst du massif de la St Baume [B. du Rh, Var; France). Actes du 14e Symposium international de karstologie théorique et appliquée, Roumanie, Theoretical and Applied Karstology, n° 10, p.29-43.

Martin Ph., (1997.c), Relations entre le fonctionnement hydrologique et les structures géomorphologiques du karst de la St Baume (B. du Rh., Var; France); essai de modélisation. Actes du colloque de l'AFK et de l'URA 903 Aix-en-Provence, octobre 1997.

Martin Ph., (1999.a), Quantification fractale des formes superficielles du karst. L'exemple du massif de la St Baume (Bouches du Rhône, Var; France). Actes du colloque: Montagnes méditerranéennes, Aix-en-Provence, oct. 1998, in Études de géographie physique, travaux 1999, n° XXVIII, CAGEP — URA 903 du CNRS, Université de Provence, p. 127-136.

Martin Ph., (2000.a), Quelle est la dimension du massif karstique de la St Baume ? Éléments pour une théorie spatiale et fractale du karst. Karstologia, n° 35, p.13-26.

Martin Ph., (2000.b), Forme et rugosité des surfaces karstiques. Conséquences pour une théorie spatiale et fractale de l'interface terrestre. Karstologia, n° 36, p.1-16.

Martin Ph., (soumis), Le Modèle Hydrologique Différentiel (MHD. Application d'une nouvelle méthode d'analyse aux cycles et récessions : exemple de ceux de la Fontaine de Vaucluse mesurés entre 1966 et 2014.

Martin Ph., Kabo R., (2015), Variations du débit de la Fontaine de Vaucluse entre 1877 et 2014. Évolutions tendancielles des débits moyens et des étiages. Karstologia, n° 66, p.37-47.

Nicod J., (1967), Recherches morphologiques en Basse — Provence calcaire. Thèse d'état, Université Aix — Marseille II, Louis Jean éditeur, Gap, 557 p.

Tassy A., (2012), Karsts côtiers et canyons sous-marins de la marge provençale au Cénozoïque : contrôle géodynamique, eustatique, hydrologique et structural. Thèse Aix-Marseille université, 416 p.

Hadj Allal Fatima Zahra, Merzouk Abdessamad, Aboura Rédda, Stambouli Hassiba Phytoécologie des ripisylves dans la région de Tlemcen: cas des Tamaricacées Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp.25-35 ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access www.iiste.org



### Phytoécologie des ripisylves dans la région de Tlemcen : cas des Tamaricacées

Hadj Allal Fatima Zahra, Merzouk Abdessamad <sup>1</sup> ; Aboura Rédda, Stambouli Hassiba Laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels Université de Tlemcen BP 119 13000 Tlemcen

### Résumé:

Scientific Press International Limited

Les ripisylves sont des formations végétales qui se développent sur les bords des cours d'eau ou des plans d'eau situés dans la zone frontière entre l'eau et la terre (écotones).

Elles sont constituées de peuplements particuliers en raison de la présence d'eau sur des périodes plus ou moins longues, elles sont caractéristiques des Oueds de notre région,

Les ripisylves jouent un rôle écologique important. En particulier, elles offrent des habitats naturels spécifiques. Elles forment des corridors biologiques, augmentent la connectivité écologique des paysages et jouent pour ces raisons un rôle majeur pour le maintien de la biodiversité (biodiversité forestière et des cours d'eau notamment), aux échelles régionales. Enfin, véritables filtres, elles protègent la qualité de l'eau et d'une partie des zones humides du bassin versant, les berges et les sols riverains.

Notre étude s'intéresse à l'aspect botanique et phytoecologique des groupements endémiques de nos Oueds qui sont les tamaricacées.

Mot clés: Oued Tafna –Ripisylves-Tamarix- gradients écologiques – xérophytes.

### Phytoecology of riverine forest in the Tlemcen region: case of Tamaricaceae

### **Abstract:**

Plant formations that develop on the edges of streams or bodies of water located in the border area between water and land . They are made up of specific stands due to the presence of water over more or less long periods, formations characteristic of the Oueds in our region, Riparian forests play an important ecological role. In particular, they offer specific natural habitats. They form biological corridors, increase the ecological connectivity of landscapes and therefore play a major role in maintaining biodiversity (forest and river biodiversity in particular), at regional scales. Finally, true filters, they protect the quality of the water and part of the wetlands of the watershed, the banks and the riparian soils. Our study is interested in the botanical and phytoecological aspect of endemic grouping of our wadis which are the tamaricaceae.

Keywords: Oued Tafna – Repisylves-Tamarix- ecological gradients - xerophyte

Page 25

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: <u>lecgen2014@gmail.com</u>

Hadj Allal Fatima Zahra et al. / JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 25-35

#### INTRODUCTION

La région méditerranéenne est transition sur le plan bioclimatique, et selon plusieurs travaux recentes, elle est cependant très difficile de séparer les effets écologiques engendrés par le changement climatique et atmosphérique occasionné par les variables selon les régions méditerranéennes (BOUAZZA M., 1995)

La végétation ripilsive présente au bord des Oueds méditerranéens est caractérisée par des contraintes climatiques et pédologiques fortes, salinité, vent, sécheresse et sols peu profonds ou mobiles.

La végétation permet la protection physique des sols grace à la fixation des réseaux racinaires (MERZOUK A, 2010) particulièrement développé et efficace chez certaines espèces comme le *Tamarix* En augmentant les forces de rugosité du lit d'Oued, La végétation diminue la vitesse moyenne et la force d'érosion du courant et ralentie la progression des crues ; la state arbustive forme un tapie protecteur par la plaque des tiges aérienne.

**Tamarix** est un genre d'arbustes ou de petits arbres qui appartenant à la famille des <u>Tamaricacées</u>. Il est fréquent dans les régions méditerranéennes, où il peut être spontané ou cultivé.

#### Matériel et Méthode :

Situation géographique

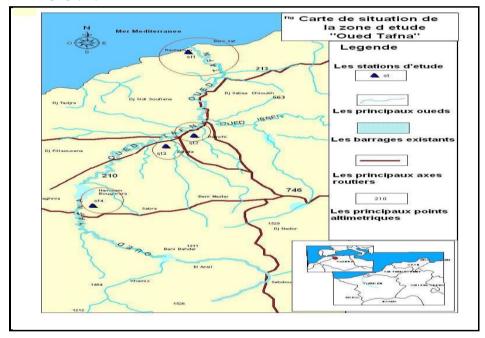


Fig 1 : Situation géographique de nos stations d'étude

La zone d'étude comprenant les différentes stations choisies à partir d'un échantillonnage stratifié se localise dans la partie occidentale du Nord-Ouest algérien. Elle se trouve dans la wilaya de Tlemcen, S'étendant sur une superficie de 10 000 km² la zone d'étude s'élève à une altitude approximative de 8 à 300 m et limitée entre le 35°02' et 35°55' de latitude nord et 1°26' et 1°38'de longitude ouest.

Hadj Allal Fatima Zahra et al. / JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 25-35

### Choix et description des stations

Le choix a été orienté par la présence de formations ripilsives. Quatre stations réparties sur l'ensemble de la région d'étude ont fait l'objet d'un échantillonnage stratifié, ce qui peut paraître insuffisant sur un espace s'étendant sur une importante surface.

Station N°I: Hammam Bougrhara

Cette première station est située dans l'ouest algérien à 10Km de Maghnia. Elle se trouve sur le pont de la route nationale RN 35 à quelques Kms de localité de Hammam Boughrara, Elle s'installe sur une longitude de 1°38 Ouest et une latitude de 34°53' Nord et une altitude de 252m.

Elle est caractérisée par une topographie plane (pente de 5%) et un taux de recouvrement de 50 à 60%. Composé des espèces :

Anagallis arvensis L., Atractylis caduus, Bromus madritensis L, bromus rubens L, Chrysanthemum coronarium L, Chrysanthemum grandifolium (L)Batt, Daucus carota subspgummifer Lamk, Erodium moschatum L, Lavatera maritima, Nerium oleander, Plantago lagopus, Reicharidia picroides, Schismus barbatus, Senterium sianus, Sinapis arvensis





Photos I-2 Station I: Hammam Boughrara

### Station N°2: Zenata

Cette deuxième station, se trouve sur le pont de la route nationale RN 98 à quelques kilomètres de la localité de Zenata. Elle s'installe sur une longitude de 1°29 Ouest et une latitude de 35°02 Nord et une altitude de 254m.

La station présente un taux de recouvrement de 50 à 60% sur une pente légère de 10 à 20%.

Les espèces dominant cette station sont :

Chenopodium album, Chrysanthemumcoronarium, Hordeum murinum, Lagurus ovatus, Medicago falcate, Nerium oleander, Papaver hybridum, Phalaris communis, Plantago major, Scolymus grandiflorus, Silybum marianum et Sinapis arvensis.



Photo3 Station 2: Zenata

Hadj Allal Fatima Zahra et al. / [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 25-35

Station N°3: Oued Isser

Cette troisième station, se trouve sur le pont d'Oued Isser sur la route nationale RN 22. Elle s'installe sur une longitude de 1°26 Ouest et une latitude de 35°06 Nord et une altitude de 84m.

La station présente un taux de recouvrement de 50 à 60% sur une pente légère de 10 à 20%.

Les espèces dominantes sont :

Acacia cyanophilla, Agave americana, Bromus madritensis, Bromus rubens, Centaurea pullata, Chenopodium album, Chrysanthemum grandiflorium, Erodium moschatum, Hordeum murinum, Lagurus ovatus, Malva sylvestris, Marrubium vulgare, Phalaris communis, Silybum marianum, Smyrnium olusatrum, Sinapis arvensis et Withania frutescens.

### Station N°4:Rachgoun

Elle correspond aux plages de Rachgoun et Siga qui se situent à l'Ouest de Béni Saf et à l'Est des Monts des Traras, elle se trouve sur la route nationale RN22 et se localise sur la valve de l'Oued de la "Tafna" qui débouche sur la Côte de Rachgoun. Elle présente une longitude de 1°28 Ouest et une latitude de 35°17 Nord et une altitude de 8m avec et un taux de recouvrement entre 30 et 40% sur substrat siliceux.

Les espèces qui dominent cette station sont :

Arthrocnemum glaucum Atriplex halimus Bromus rubens Centaurea pullata Chenopodium album, Ephedra fragilis, Hordeum murinum, Juniperus phoenicea, Lobularia maritima, Lycium europaeum, Malva sylvestris, Pistacia lentiscu et Quecus ilex.

La présence de Juniperus phoenicea confirme la xéricité de la station et sa situation dans l'étage thermo-méditerranéen.

La dominance de Quercus ilex explique la présence d'une ancienne forêt soumise à une forte pression anthropozoogéne et notamment les incendies d'une part, et qu'elle soit une espèce rustique, indifférente au substrat, d'autre part.





Photos 6-7 Station: Rachgoun

### Méthodologie

#### I - Bioclimat:

Compte tenu des données dont nous disposons, nous avons pu couvrir, pour les principales stations de références, obtenues à partir du recueil météorologique de SELTZER, plusieurs indices bioclimatiques sont utilisés, quotient d'EMBERGER, indice de continentalité de DEBRACH, Indice d'aridité de DEMARTONNE, diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN et Coefficient relatif saisonnier de MUSSET

### 2- Sols:

Grace au manuel de Guy Aubert, on a fait les analyses du pH (Méthode électrométrique), CaCO3 (Calcaire totale) et Matière organique. En connaissant la quantité de bichromate nécessaire pour cette Oxydation, on peut calculer le pourcentage de carbone organique et d'humus dans le sol (le rapport % humus/ % Cox = 1,724), La conductivité électrique par la Méthode de l'extrait dilué ou l'extrait un cinquième (1/5), les mesures sont Exprimées en mS/cm.). La coloration selon le code Munsel.

3- Phytoécologie:

Pour avoir un bon aperçu sur la diversité; de l'hétérogénéité des formations végétales présentes dans les stations d'études nous avons réalisé des relevés floristiques dans des stations occupées par des formations ripisylves. Dans ce contexte, nous avons procédé à :

- Echelle d'abondance –dominance
- Une caractérisation biologique
- Une caractérisation biogéographique

Hadj Allal Fatima Zahra et al. / [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 25-35]

- Une caractérisation morphologique
- Une richesse spécifique
- L'Indice de perturbation
  - La flore utilisée pour l'identification des taxons récoltés est la flore l'Algérie (Quézel et Santa, 1962).

#### 4- Méthode statistique :

Le traitement statistique à partir du logiciel « Minitab 16 » a pris en compte les espèces végétales après les avoir codé des relevés de chaque station. Nous les avons ensuite disposés dans un tableau sous Excel (avec les relevés en lignes et les espèces en colonnes).

L'un des intérêts fondamentaux de cette méthode est la représentation simultanée dans un même espace et de manière symétrique des relevés et des espèces de telle sorte que chaque espèce se localise au sein du groupe de relevés auquel elle est la plus étroitement liée (Lacoste, 1972).

Seul le coefficient d'abondance-dominance est retenu. Le tableau constitue la matrice à partir de laquelle les calculs des distances sont effectués.

### Résultats et synthèse

### I - Synthèse Bioclimatique

Nos stations se localisent à l'étage semi aride supérieur à hiver chaud ou doux selon le Q2 d'Emberger, thermoméditerranéen selon la classification de Riva Martinez, avec un régime semi aride sec à écoulement temporaire selon l'indice de Demartonne, du semi continental à littoral selon l'indice de Debrach, de 4 à 6 mois de sécheresse selon Bagnouls Gaussen, ainsi qu'un régime saisonnier HPAE selon Musset.

Le climat actuel de notre zone d'étude favorise l'extension d'une végétation thérophytique surtout à xérophytes.

### 2- Synthèse pédologique

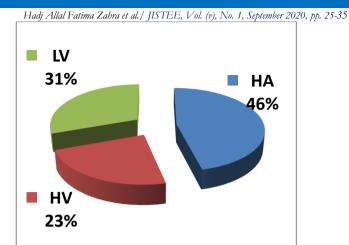
L'ensemble des caractères physico-chimiques des échantillons montre une texture limono- sableuse pour les quatre stations,

Un pH alcalin, un taux de matière organique très faible, un pourcentage de calcaire qui varie de 30 à 43 qui montre un sol fortement calcaire.

Avec un sol moyennement salé pour l'ensemble des stations, la teneur en eau est faible et elle est approximativement proche pour les quatre stations.

Les sols de la zone d'étude sont assez hétérogènes et leurs caractéristiques suivent la nature du substrat et la topographie.

### 3- Synthèse phytoécologique



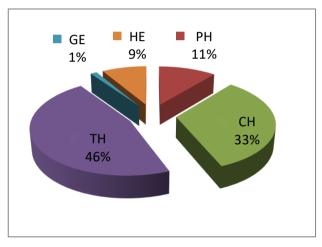


Fig 2 : Types morphologiques de la zone d'étude Fig3 : Types biologiques de la zone d'étude

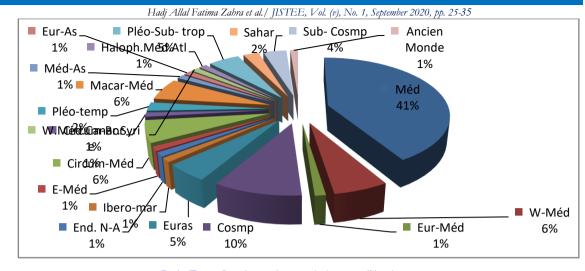


Fig4 : Types Biogéographiques de la zone d'étude

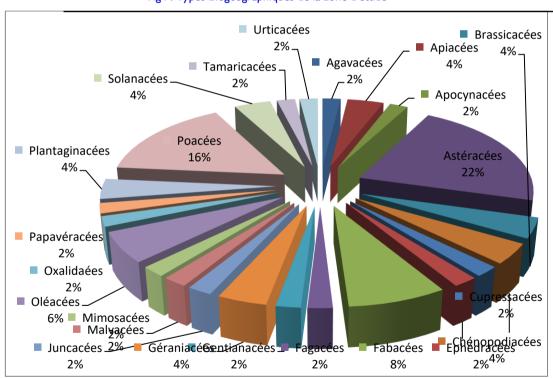


Fig 5: Familles Botaniques de la Zone d'étude

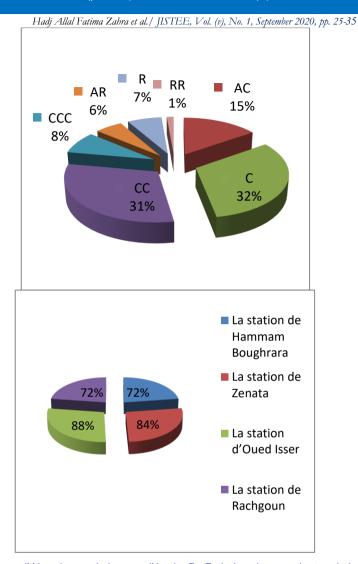


Fig 6 : Types d'Abondances de la zone d'étude Fig 7 : Indice de perturbation de la zone d'étude

### 4- Analyse statistique des résultats :

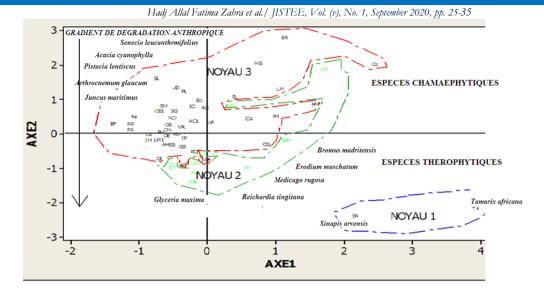


Fig 8 : Plan Factoriel des espèces (Axe2 vers Axe1)

### Signification écologique des axes :

La recherche de la signification écologique des axes factoriels s'appuiera sur la confrontation des espèces à fortes contributions relatives et à son répartition du côté positif et a du côté négatif de chaque axe. Nous tenterons ainsi de préciser quels seront les facteurs écologiques majeurs de la diversification du tapis végétal.

Le côté négatif	Le côté positif
Bromus madritensis	Acacia cyanophilla
Erodium moschatum	Arthocnemum glaucum
Glyceria maxima	Juncus maritimus
Medicago rugosa	Pistachia lentiscus
Reichardia tingitana	Senecio leucanthemifolius

Le plan 2-1 traduit un gradient d'anthropisation du côté positif avec une dégradation intense du milieu, et un gradient de thérophytisation du coté négatif.

La classification hiérarchique CAH nous permet de définir trois noyaux représentants des groupements de végétation selon les gradients écologiques définis par le plan factoriel 2-1.

- Le noyau I groupe de tamaricacées à espèces thérophytiques.
- Le noyau 2 à espèces chamaéphytiques.
- Le noyau 3 à espèces indicatrices d'anthropisation.

Hadj Allal Fatima Zahra et al. / JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 25-35

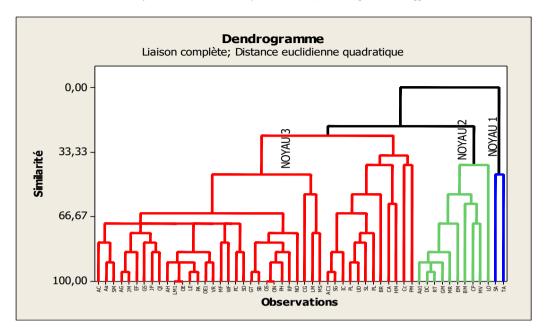


Fig 9 : La classification hiérarchique des stations d'étude

### Conclusion

L'étude du cortège floristique des ripisylves des quatre stations nous a permis de faire ressortir les résultats suivants:

- Les familles des Astéracées et des Poacées dominent incontestablement la zone d'étude. Le type biologique "thérophyte" domine largement dans les quatre stations étudiées, viennent en deuxième position les chamaephytes, les Phanerophytes, les hémicryptophytes et enfin les géophytes. Ces dernières, selon BARBERO et al (1989) exigent un milieu riche en matière organique et une forte altitude; ce qui n'est pas notre cas.
- La répartition biogéographique montre la dominance d'éléments méditerranéens, ensuite les ouest-méditerranéennes et enfin les cosmopolites.
- Le calcul de l'indice de perturbation est proportionnel à la dominance des espèces thérophytiques dans l'ensemble des quatre stations étudiées. La dominance du caractère thérophytisation est liée à l'envahissement des espèces annuelles, disséminées par les troupeaux surtout dans la zone d'étude. A ce sujet, BARBERO et al (1981) expliquent la thérophytisation par le stade ultime de dégradation des écosystèmes avec des espèces sub-nitrophiles liées au surpâturage.

### Références bibliographiques

AUBERT G., 1978 - Méthodes d'analyses du sol 2ème Edition C.N.D.P. Marseille 199 p.

BAGNOULS F. et GAUSSEN H., 1953 – Saison sèche et indice xérothermique. Doc. Carte prot. veg. art.8: 47 p. Toulouse. BARBERO M., QUEZEL. et RIVAS-MARTINEZ S., 1981 - Contribution à l'étude des groupements forestiers et préforestiers du Maroc. Phytosocoelogia Phytosocoelogia, 9(3): 311-412.

BARBERO M., BONIN G., LOISEL R., et QUEZEL P., 1989 - Sclerophyllus *Quercus* forests of the mediterranan area : Ecological and ethologigal significance Bielefelder Okol. Beitr. 4: 1-23.

BENABADJI N., 1995 - Etude phyto-écologique de la steppe à Artemisia inculta au su de Sebdou (Oranie-Algérie). Thèse. Doct. Es-sci. Univ.Tlemcen. PP: 150-158.

BOUAZZA M., 1995 - Etude phyto-ecologique de la steppe à *Stipatenassicima* L. et à *Lygeum spartum* L. au sud de Sebdou (Oranie-Algérie). Thèse de doctorat. Es-sciences Biologie des organismes et populations. Univ. Tlemcen. 153P.

DEBRACH J., 1953 - Notes sur les climats du Maroc occidental. Maroc méd., n°342 : 14 p. DE MARTONNE E., 1926- Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité. La météo. pp : 449 - 459.

Hadj Allal Fatima Zahra et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 25-35

EMBERGER L ; 1930 –A- Sur une formule climatique applicable en géographie botanique. C.R.A cad. Sc. ; 1991 pp : 389 – 390

MERZOUK A., 2010 - Contribution à l'étude phytoécologique et biomorphologique des peuplements halophiles dans la région Occidentale de l'Oranie (Algérie), thèse de doctorat d'état en biologie univ. Tlemcen 236 pp.

MUSSET R., 1935- Les calculs relatifs aux régimes pluviométriques. Fraction pluviométrique, écart pluviométrique relatif, coefficient pluviométrique relatif.

QUEZEL P. ET SANTA S. 1962- Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Editions du CNRS -

Paris – 1962, 2 vol., 1170 p., 112 pl. in t., planches h.t., préface du Pr. L. Emberger - 24 x 16,5 cm SELTZER P., 1946 – Le climat de l'Algérie. Inst. Météor. Et de Phys- Du globe. Univ. Alger. 219 P.

Sellami Mohamed Habib, Amor Boughdiri, FatmaAbdel Malek

Approche de modélisation pour l'étude de l'efficience des stations de dessalement et des techniques de

valorisation des saumures. Etudes des cas

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

Vol. (v), No. 1, September 2020, pp.36-50

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



### Approche de modélisation pour l'étude de l'efficience des stations de dessalement et des techniques de valorisation des saumures. Etudes des cas

Sellami Mohamed Habib<sup>1</sup>, Amor Boughdiri<sup>2</sup>, FatmaAbdel Malek<sup>1</sup>

Département Hydraulique, Ecoles Supérieure des Ingénieurs de Medjez El Bab, TUNISIE,

<sup>2</sup> Ecole Supérieure Agronomique de Mateur Affiliation de l'auteur, Tunisie

#### Résumé

Face aux pénuries d'eau que nous enregistrons de nos jours dans plusieurs pays du monde, les expériences de valorisation des eaux saumâtres en général et des eaux de mer en particulier ont démarré depuis des décennies. Mais malgré l'effet positif sur le développement en général des quantités d'eau dessalées produites le problème de consommation énergétique des usines de dessalement et les impacts de leurs rejets sont des points que les intervenants dans ce secteur ne cessent de les signaler. Pour participer à l'apport des solutions à ces demandes nous allons dans ce travail présenter un approche de modélisation permettant d'étudier l'efficience des stations de dessalement et des impacts de certaines techniques de valorisation des saumures. Une première validation de cet approche en se basant sur des études des cas sera présentées.

Mots-clés : Usine de dessalement, technique membranaire, énergie, cogénération, valorisation, saumure

### A modeling approach to study the efficiency of desalinization stations and of the brine valorization technologies. Cases studies

### **Abstract**

To face the water penuries that we record our days in many countries in the world, the valorization experiences of salt water in general and the sea water in particular is in progress for many decays ago. But despite the positive impact of the amount of water produced on the development in general, the problem of high energy consumption by the desalination stations and the impacts of their rejects are points always signaled by all intervening in the sector.. To participate in responding that request we are in this work developing a modeling approach permitting to study the desalinization station efficiency and to analyze the impacts of certain brine valorization technologies. Cases studies will be presented

Key Words: Desalinization factory, membrane techniques, energy, cogeneration, valorization, brine

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: <u>sellami.fac@gmail.com</u>

Sellami et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 36-50

#### INTRODUCTION

Face à une conjoncture de pénurie d'eau en croissante et qui menace plusieurs pays du monde y compris la Tunisie, l'orientation vers la valorisation des eaux non conventionnelles en générale et des eaux saumâtres en particulier est devenue une obligation.

Le dessalement des eaux saumâtre, alternative pour faire face au manque d'eau et d'améliorer la qualité des eaux distribuées, peut concerner tout les domaines : domestique, industriel et agricole. En Tunisie, l'usage des eaux dessalées comme eau potable est bien développé. En effet, plusieurs stations de dessalement existent dans plusieurs gouvernorats et d'autres en installation. Cependant l'expérience de l'usage des eaux dessalées pour des projets industriels est en développement et plusieurs appels pour la généralisée à augmenter. Dans ce cadre nous s'intéressons dans ce travail à la réhabilitation, conception et dimensionnement d'une station de dessalement des eaux de nappe pour asservir une usine de produit chimique. Une étude expérimentale pour l'analyse de l'efficacité avec la station afin de valider les calculs effectués a été réalisée.

#### **OUTILS ET METHODES**

Pour mener cette étude de diagnostic et d'analyse de l'efficience de la station de dessalement des eaux de nappe pour le fonctionnement d'une usine en Tunisie nous avons procédé au développement d'un approche de modélisation pour faire des simulations, nous avons utilisé les logiciels WAVE et IMS Design et nous avons mené des expériences de mesure de l'efficacité de chaque technique de traitement dans la station.

Mise en équation pour le diagnostic et l'analyse de l'efficience des techniques membranaires pour le dessalement

### Etude de diagnostic des techniques membranaires

Le passage des eaux saumâtres à travers les filtres membranaires peut être sous l'effet d'une différence de charge ionique de soluté et c'est le cas du dialyse, sous l'effet d'un potentiel électrique et c'est le cas de l'électrodialyse, sous l'effet d'une différence de concentration et c'est le cas de l'osmose, sous l'effet d'une pression et c'est le cas de l'osmose inverse et sous l'effet de la vitesse de décharge et c'est le cas du microfiltre, ultrafiltre et nanofiltre, accelo-filtre, aéro-filtre...

Pour toutes les catégories des filtres rappelées ci-dessus nous pouvons donner les formules suivantes de dimensionnement :

$$V_{filt} = \frac{Q_i t \ d_i}{d_t}$$

 $V_{fit}$ : volume filtrant en  $m^3$ ,  $Q_i$ : Débit initial d'eau non conventionnelle dans l'influent en  $m^3$ /jour,  $d_i$ : Densité des particules initiale dans l'influent en mg/l, t: Temps mis pour une séance de traitement,  $d_t$ : Densité des particules dans l'eau de l'effluent tolérable pour la réutilisation en mg/l

Une fois nous avons caractérisé les particules à éliminer et nous avons déterminé ainsi le volume occupé par une particule ou un nombre de particule nous pouvons proposer les formes et les dimensions des pores du filtre à utiliser qui doivent être inférieures à celles des particules polluantes à éliminer. Leur nombre dans le volume filtrant est donné par

$$N_{por} = \frac{V_{filt}}{V_{por}}$$

N<sub>por</sub> : Nombre des pores dans le volume filtrant, V<sub>por</sub> : Volume occupé par un pore, V<sub>filt</sub> : Volume filtrant totale

Le nombre des unités à proposer pour accomplir la conception de notre filtre dépend des éléments existants sur le marché. Il suffit d'avoir la structure et la texture du filtre exigé (volumes des pores, nombre des pores par unité de longueur, par unité de surface, par unité de volume, forme des pores) et voire la surface ou le volume occupé par unité. Le nombre totale des unités est donné par

$$N_{uni-filt} = \frac{V_{filt}}{V_{uni-filt}}$$

Nuni-filt: Nombre des unités filtrantes, Vuni-filt: volume occupé par une unité filtrante, Vfilt: Volume filtrant total

Sellami et al./ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 36-50

La relation entre les caractéristiques de structure de la membrane (nombre pores, diamètre pores, épaisseur membrane)n le débit transitant à travers la membrane et la pression transmembranaire que nous pouvons utiliser dans la conception est la suivante :

$$Q_{mem} = \frac{N_{por}r_{por}^2}{8 E_{mem}\mu} P_{trans-mem}$$

E<sub>mem</sub>: Epaisseur membrane, N<sub>por</sub>: Nombre des pores, Pt<sub>rans-mem</sub>: Pression transmembranaire, r<sub>por</sub>: Rayon des pores, μ: Viscosité dynamique de l'eau salée

Nous définissons aussi la perméabilité hydraulique de la membrane, la résistance hydraulique de la membrane et la transmittivité de la membrane Nous écrivons :

$$L_{perm-hyd-mem} = \frac{q_{mem}}{p_{trans-mem}}, R_{res-hyd-mem} = \frac{1}{L_{hyd-mem}\mu_{permeat}}, T_{trans-hyd-mem} = \frac{c_{permeat}}{c_{rétentat}} 100$$

$$C_p : \text{concentration du perméat (g. L-I), } C_{rét} : \text{concentration du rétentat (g. L-I), } L_{perm-hyd-mem} : \text{Perméabilité hydraulique}$$

membrane, Rres-hyd-mem: Résistance hydraulique de la membrane, T<sub>trans-hyd-mem</sub>: Transmittivité hydraulique de la membrane

# Etude d'analyse de l'efficience des techniques membranaires

L'étude de l'efficacité d'un filtre consiste à suivre sa capacité d'éliminer les particules polluantes qui existent dans les eaux non conventionnelles dans le temps et en se référant à l'évolution des caractéristiques des eaux non conventionnelles tout en essayant d'établir des relations mathématiques. Ceci est toujours relatif puisqu'il dépend de l'exigence de l'application de valorisation des eaux non conventionnelles en qualité. Donc on doit suivre l'évolution des normes et construire un filtre qui répond aux niveaux de traitement fixées.

Nous pouvons donner les équations suivantes de l'efficience des filtres :

#### Formule du National Research Council of USA:

$$E = \frac{100}{1 + 0.44\sqrt{Q_{dech}}}$$

 $E = \frac{100}{1+0.44\sqrt{Q_{dech}}}$  E : efficience du filtre en terme de % des particules enlevée,  $Q_{dech}$  : Décharge hydraulique en kg/m³/jour E s'exprime aussi par

$$E = \frac{c_{inf} - c_{ef}}{c_{inf}} 100$$

 $E=\frac{c_{inf}-c_{ef}}{c_{inf}} \mbox{\bf 100}$  C<sub>inf</sub>: Concentration des particules initiale dans l'influent , C<sub>ef</sub>: Concentration des particules finale dans l'effluent La relation entre la concentration initiale des particules qui existent dans l'eau à traiter (influent) et la concentration finale des particules après passage à travers un filtre et qui restent dans l'eau traitée (effluent) peut être exprimée de plusieurs façons nous donnons les suivantes :

#### Equation de Velz:

$$\frac{C_{ef-z}}{C_{inf}} = \frac{1}{(R+1)\exp\left(\frac{K_{20}\theta^{T-20}A_{s}z}{\left(Q_{dech}(R+1)\right)^{n}}\right) - R}$$

Cef.z: Concentration des particules enlevées dans l'effluent à la profondeur z du filtre en mg/l, Cinf: Concentration des particules à enlever initiale dans l'influent en mg/l, R: Taux de recyclage, K20: Constante de vitesse à la température 20  $^{\circ}$ C, heta : Coefficient de correction de la température (1.035),  $A_s$  : Surface spécifique (m²/m³),  $Q_{dech}$  : Débit de décharge, Z : Epaisseur du filtre, n : Constante fonction de la température et de la surface spécifique de l'ordre de 0.67.

#### Outils logiciels de diagnostic et d'analyse de l'efficacité de la station

Pour mener un diagnostic de la conception de la station réalisée sur champ et analyser son efficacité nous avons procédé à l'usage de deux outils logiciels afin de comparer les résultats des logiciels à ceux donnés par le calcul direct avec les formulations proposées. Les logicles sont :

- Logiciel WAVE qui intègre trois des technologies de pointe de l'industrie ultrafiltration, osmose inverse et échange d'ions - dans un outil complet utilisant une interface commune. Il simplifie le processus de conception multi-technologie et contribue finalement à réduire le temps nécessaire à la conception de systèmes de traitement de l'eau
- IMS-Design est un logiciel de dimensionnement répondant aux exigences des professionnels et des experts du dessalement, et cela dans le but de sélectionner la membrane et la configuration la plus performante selon la qualité et la quantité de l'eau à traiter,

Sellami et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 36-50

Pour les deux logiciels nous devrons introduire les caractéristiques de l'eau à traiter, les normes exigées par le projet qui va utiliser cette eau et les quantités d'eau à produire.

### Analyse expérimentale de l'efficacité de la station de dessalement

La partie expérimentale consiste à mesurer les paramètres indicateurs de caractérisation des eaux à l'entrée et à la sortie de chaque composante de la station. De même une mesure des pression dans différents points particuliers de la station a tété effectuée. En utilisant les formules de calcul de l'efficacité des systèmes nous avons pu estimer expérimentalement le rendement de chaque élément de la station et du rendement total.

#### RESULTATS ET INTERPRETATION

#### Caractéristiques des eaux saumâtres brutes

Les eaux saumâtres à traiter sont des eaux de nappe extraites via cinq forages de débit respectivement  $180 \, \text{m}^3$ /heure,  $210 \, \text{m}^3$ /heure,  $220 \, \text{m}^3$ /heure,  $230 \, \text{m}^3$ /heure et  $240 \, \text{m}^3$ /heure. La salinité est respectivement de  $10 \, \text{g/l}$  ,  $9.6 \, \text{g/l}$ ,  $8.1 \, \text{g/l}$ .,  $10.16 \, \text{g/l}$  et  $10.5 \, \text{g/l}$ .

Les résultats des analyses de la conductivité et de la turbidité des eaux salées de nappe sont dans les figures suivantes :

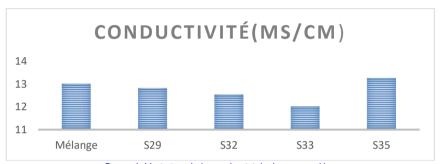


Figure I. Variation de la conductivité des eaux salées



Figure 2. Variation de la turbidité des eaux brutes des nappes

La mesure de la conductivité électrique au niveau des forages montre une variation irrégulière d'un forage à un autre, Les valeurs sont comprises entre 1201 et 1325 µs /cm. Les points de prélèvement ont une CE supérieure à 1000 donc on constate une minéralisation élevée (eau salines). Les teneurs de turbidité présente dans les eaux des forages de SIAPE Skhira sont généralement compris entre 0,5 et 1,9. La plupart des points de prélèvement ont une teneur de turbidité très faible..

#### Diagnostic de la conception proposée pour la station

Les résultats de l'étude du diagnostic de la conception actuelle de la station sont récapitulés dans le tableau suivant :

Sellami et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 36-50
Tableau I. Résultats de dimensionnement du filtre à cartouches par ligne
Débit de filtration (m³/h)
Vitesse de filtration (m/h)
Surface de filtration (m²)
Forme
Cylindrique
Nombre de cartouches (unités)

September 2020, pp. 36-50
12
13.75
Cylindrique

Les résultats de la conception optimale de la station est dans la figure suivante :

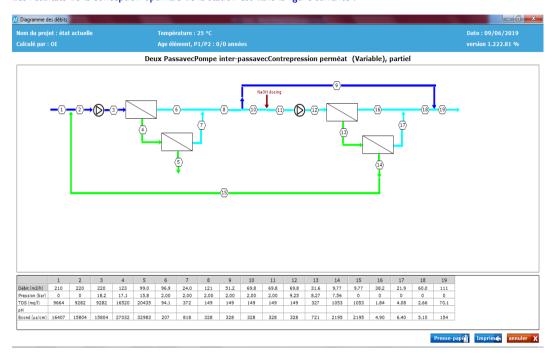


Figure 3. Schéma de la conception optimale des lignes d'osmose inverse A, B ou C

# Analyse de l'efficacité de s lignes d'osmose inverse

Le tableau suivant récapitule les résultats de l'analyse de l'efficacité des lignes des unités d'osmose inverse de la station :

Tableau n° 2 Paramètres d'analyse des lignes A, B, C des unités d'osmose inverse

Ligne A, B, C	Entrée	Sortie
Débit (m³/h)	220	121 (eau osmosée)
Pression (bar)	26	18 (rejets)
Salinité totale d'eau brute (g/L)	10	
Débit de rejets des saumures (m³/h)	99	
Salinité totale des saumures (g/L)	22	
alinité entre l'entrée et les rejets de saumures	2.2	
Rendement global (taux de conversion)	55%	

Sellami et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 36-50

Le suivi des paramètres de surveillance de la performance de train osmotique est dans les figures suivantes :

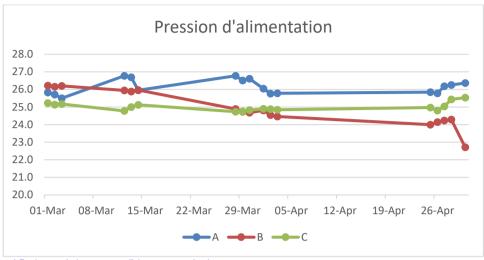


Figure 4 Evolution de la pression d'alimentation des lignes osmotiques

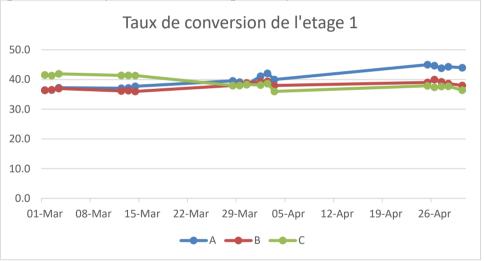


Figure 5. Evolution du taux de conversion

L'évolution de la pression de la ligne A oscille entre 25 et 27 bars, il y a dépassement de la valeur de conception 26 bars, cette élévation peut être due à un colmatage des membranes. L'évolution de la pression de la ligne B oscille entre 24 et 26 bars, donc les membranes est en état normal. L'évolution de la pression de la ligne C oscille entre 25 et 26 bars, donc les membranes est en état normal

L'évolution de taux de conversion moyen mensuel des lignes d'osmose inverse A, B, C pendant une période de 2 mois montre que ce taux est variable par rapport valeur de dimensionnement de la station pour les 2 étages (40% pour étage I et 25% pour étage 2).

Sellami et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 36-50

#### CONCLUSION

Nous avons dans ce travail présenté la méthodologie générale à suivre pour la conception et le dimensionnement des différentes installations d'une station de dessalement de l'eau de nappe afin d'assurer le besoin en eau d'une usine. Nous avons essayé de donner aux formulations un aspect général de façon que nous pouvons les appliquer pour la phase de récupération des eaux non conventionnelles, leur adduction, leur traitement et leur distribution dans le projet qui est une usine dans ce cas. L'analyse de l'efficacité de la station conceptualisée et dimensionnée a été réalisée expérimentalement et par l'usage de deux logiciels différents. Les résultats trouvés sont comparables et très acceptables.

#### Référence:

- [1]Bechmann H 1999 "Modelling of wastewater systems" ATV Erhvervsforskerprojekt EF 623 ISSN 0909-3192, IMM-PHD-1999-69 ISBN 87-88306-01-1 Lyngby 1999
- [2]Block J.C., L.Schwartzbrod. 1984 « Analyse virologique des eaux ». Technique et documentation. Lavoisier. Paris (1984).
- [3]George Tchobanoglous 2002 "Waste water Engineering: Treatment and reuse" METCALF&EDDY, McGraw-Hill's. ISBN-10: 0070418780 | ISBN-13: 978-0070418783 | Edition: 4th
- [4]Maurel Alain, 2006« Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », 286 p. Ed. Tec&Doc Lavoisier , 2006
- [5] Sellami M.H. 2020 « Ingénierie de la valorisation des eaux non conventionnelles » Edition Universitaire Européenne, ISBN. 978-620-2-53308-9, 107 pages.
- [6]Tata Ducru F,2009 « Dessalement de l'eau de mer; bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique », AgroParisTech ENGREF Montpellier janvier 2009
- [7]Teodosiu, C., Gilca, A.-F., Barjoveanu, G., Fiore, S., 2018. Emerging pollutants removal through advanced drinking water treatment: A review on processes and environmental performances assessment. J. Clean. Prod. 197, 1210–1221. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.06.247

Azougarh Lahcen, Mouline Mohyeddine Ahmed, Talbi Naima

Des ressources en eau fragiles face à la variabilite climatique et l'activite anthropique dans le sous bassin toudeha (sud-est marocain

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

Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 51-58

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



# Des ressources en eau fragiles face à la variabilite climatique et l'activite anthropique dans le sous bassin toudgha (sud-est marocain)

Azougarh Lahcen<sup>1</sup>, Mouline Mohyeddine Ahmed <sup>2</sup>, Talbi Naima <sup>3</sup>

- <sup>1</sup> Chercheur au Laboratoire : Environnement Développement et Gestion de l'espace (EDGE), Université Ibn Tofail flsh Kénitra, <sup>2</sup>Docteur en Géographie
- <sup>3</sup> Laboratoire EDGE; Université Ibn Tofail flsh Kénitra

#### Résumé

La rareté relative des ressources en eau au Maroc, leur fragilité et leur inégale répartition font naître un risque maieur de bénurie qui s'accentue continuellement, notamment dans les espaces oasiens. Dans ces espaces fragiles. la question de l'eau constitue ; de ce fait ; une priorité d'ordre spatial, socioéconomique et environnemental comme elle se trouve au cœur des préoccupations d'un ensemble de stratégies nationales, qui fait de l'eau sa problématique majeure. Au fil des ans, l'oasis de Toudgha; au sud est Marocain; a connu de nombreuses perturbations occasionnées par les sécheresses de plus en plus sévères, les inondations, les changements sociodémographiques et le déséquilibre causé par la surexploitation de la nappe. L'action conjuguée de ces facteurs et d'autres a progressivement transformé cet espace de production paysanne et d'autosuffisance en un espace agressé par le pompage et la multiplication de cultures non adaptées. Cette intervention anthropique démesurée a déstabilisé d'avantage l'oasis et rend la vulnérabilité de son paysage inquiétante. En effet, les mutations sociodémographiques, l'urbanisation et la prolifération de stations de pompage (en aval) ont occasionné une surexploitation de la ressource hydrique et l'a porté à des niveaux délicats et critiques. Dans cette région semi-désertique, l'activité oasienne est entièrement dépendante des ressources en eau c'est pour cette raison, un combat doit donc être mené pour freiner le déséquilibre constaté et contribuer à la stabilité de ce milieu et son développement, un développement qui tient compte de la sensibilité de cet espace et les besoins croissants en matière de ressources hydriques. Pour faire face à ce déséquilibre environnemental et par conséquent socioéconomique, des mesures d'ajustement et de correction demeurent indispensables, d'abord l'adoption de démarches écologiquement durables quant à l'utilisation des ressources hydriques et mobiliser les eaux d'inondations tout en réduisant les risques naturels en amont du bassin. Enfin avec la mobilisation de tous les acteurs ; et grâce à un consensus entre l'amont et l'aval ; les situations de pénurie d'eau seraient donc rattrapées, chose qui contribue à la stabilisation de l'oasis Toudgha.

Mots clés : Activité anthropique ; déséquilibre ; Oasis ; ressource en eau ; variabilité climatique.

# The fragile water resources facing the challenges of climate change human activity in Toudgha basin

#### **Abstract**

The scarcity of water resources in Morocco with fragility and bad distribution will lead inevitably to a big environmental danger which will increase continuously in oasis domains in the fragile dray regions. The water problem is of real priority in all levels especially socioeconomically and environmentally, at also includes the national strategy of wich are based on the problem of water.

Over the years, Toudgha oasis (South east of Morocco) knew several profound transformations as a result of years of successive droughts and flood sat the other times. In addition to the sociodemographic transformation and over exploitation of water bed in economic human activities. Toudgha oasis has turned from production milieu of self-sufficiency into medium that suffers from draining of water bed to alien crops and inappropriate activity. The unreasonable human intervention has lead to the environmental imbalance in the oasis. It has also increased in the fragility of oasis scenery in an alarming way following. The transformation that involved the sociodemographic aspect such as the emigration, rapid urbanisation and the use of water pump station until the waterbed has reached disturbing levels in this dry region, stability and activity are interlinked with the availability of water resources. On this basis, thinking about saving is a duty whose goal is to restore balance and contribute to the stability of the population so as to develop sensitive consideration in this milieu and to satisfy the increasing needs of the inhabitant of this vital substance to address this environmental imbalance and its social and economical implications sustainable ecological steps and adapted measures shoud be taken to the milieu with the concerted efforts of all interfers. Flood hydrology must be minimised by mobilising it to avoid hazards in the high basin and avoid the scarcity in the below basin in order to restore Toudgha oasis to its balance.

Key Words: Anthropogenic activity; imbalance; oasis; water resource; climate variability.

Page 51

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: <u>lahcen.azougarh@uit.ca.ma;</u> azougarh@ymail.com

Azougarh et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp.51-58

# INTRODUCTION

L'eau constitue un défi pour les pays méditerranéens notamment le Maroc, c'est une ressource essentielle à la vie et au développement de la société et aujourd'hui menacée par l'activité humaine peu maitrisée, et une composante exogène qui est le climat. Cette rareté des ressources en eau découle des particularités géographiques mais aussi climatiques. Le problème de disponibilité de cette ressource en quantité et en qualité est étroitement lié aux besoins croissants du territoire. Ces derniers creusent davantage la fracture entre l'offre et la demande et laissent pressentir des déficiences alarmantes dans un horizon proche et sans doute dans le futur avec les changements constatés au niveau climatique. Au sud est Marocain ; les oasis ont connu de nombreuses perturbations occasionnées par les sécheresses de plus en plus sévères, la surexploitation de la nappe par des techniques nouvelles et le climat de plus en plus sec. L'action conjuguée de ces facteurs et d'autres a progressivement transformé cet espace d'autosuffisance agricole en un espace agressé par une intervention anthropique démesurée. Elle a déstabilisé les oasis et rendu la vulnérabilité du paysage inquiétante. En effet, les mutations sociodémographiques, l'urbanisation et la prolifération de stations de pompage ont occasionné une surexploitation de la ressource hydrique et l'a porté à des niveaux délicats et critiques. L'objectif de cet article est la réflexion sur les usages de la ressource vitale dans une oasis au sud Est du Maroc; appelée Toudgha; une zone oasienne aride sous pression d'activités anthropiques. Certes soumise à un climat aride, l'oasis de Tinghir connait des pénuries d'eau qui ne cessent de s'amplifier ces derniers temps, le besoin en eau constitue alors un problème récurrent dans cet espace oasien. Nous essayerons par cette contribution appréhender la fragilité de la ressource par deux points essentiels, le premier concerne le facteur climat et son impact sur les réserves en eau et le second point traite les besoins en eau dans l'oasis.

### **MATÉRIELS ET MÉTHODES**

Pour appréhender cette problématique de l'eau, et tenter de répondre à la fragilité de la ressource soulevée en haut, notre réflexion nécessite une interdisciplinarité, qui exige la prise en compte des connaissances dans divers domaines hydrologie, climat, sociologie et économie ; c'est dans ce prisme un ensemble d'étapes ont été poursuivies : D'abord, nous avons analysé les données pluviométriques du bassin Toudgha, en calculant l'indice de précipitations standardisé (IPS). Puis, nous avons balayé notre terrain d'étude, afin de soulever les spécificités réelles du milieu et côtoyer ainsi le territoire oasien dans son fonctionnement et sa relation avec cette ressource fragile, surtout l'activité agricole qui se voit plus consommatrice d'eau, sur ce nous avons essayé de calculer les besoins en eau des cultures. Enfin, le traitement de la donnée collectée a été effectué par le logiciel du système d'information géographique et le logiciel d'analyse statistique.

#### L'indice de précipitations standardisé :

Dans le but de caractériser et de suivre la sécheresse au niveau des régions arides et semi-arides, nous avons eu recours à l'indice de précipitations standardisé (IPS). Il représente l'écart-type des précipitations cumulatives par rapport aux moyennes climatiques. Mathématiquement l'IPS est basé sur les probabilités cumulatives d'occurrence d'événements pluviométriques pour une station donnée. Les données historiques de la pluviométrie sont corrélées à la distribution gamma du fait que cette dernière représente bien la distribution de la pluviométrie [1]. Le calcul de l'IPS se fait sur la base d'une série de données pluviométriques mensuelles. Il y a sécheresse quand la valeur de l'IPS est négative. La sécheresse est modérée quand les valeurs de l'IPS sont comprises entre 0 et –1.5, elle est sévère quand cet indice est compris entre –1.5 et –2, au-delà de –2 la sécheresse est considérée comme extrême. Les conditions sont humides quand l'IPS enregistre des valeurs supérieures à I (Figure I). L'Indice Standardisé des Précipitations, ou en anglais Standardized Precipitation Index (SPI) créé par T.B. MCKEE et al. (1993) [1] répond à la formule suivante :

SPI = (Pi - Pm) / Si

Où Pi est le cumul de la pluie pour une année i ; Pm et Si, sont respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées pour une série donnée. Cet indice définit la sévérité de la sècheresse en différentes classes. Les valeurs annuelles négatives indiquent une sècheresse par rapport à la période de référence choisie et les positives indiquent une situation humide.

Figure I : Classification de la sècheresse en rapport avec la valeur de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI).

Classes du SPI	Degré de la sècheresse	
SPI > 2	Humidité extrême	
I < SPI < 2	Humidité forte	
< SPI < 10	Humidité modérée	
< SPI < 0-1	Sècheresse modérée	
< SPI < -1-2	Sècheresse forte	
SPI < -2	Sècheresse extrême	

Azougarh et al./ IISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp.51-58

#### Cartes topographiques et modèle numérique du terrain utilisés :

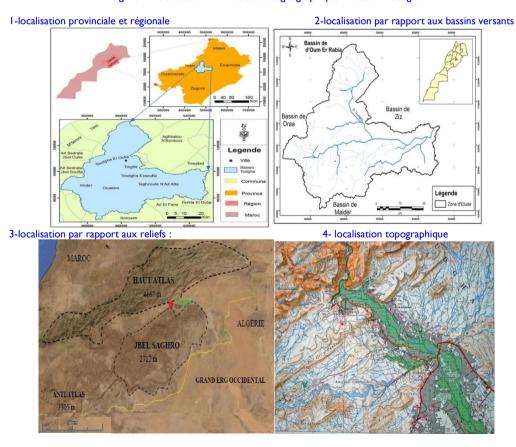
Le bassin versant de l'oued Toudgha est couvert par les cartes topographiques suivantes :

- Cartes topographiques: Ce bassin est couvert par quatre cartes topographiques 1/50000 (Boumalne, Tinghir, Tinjdad et Alnif); qui ont servi pour la localisation et l'extraction du réseau hydrographique des principaux cours d'eau, localités, réseau routier, reliefs....
- Modèle numérique du terrain (MNT) : utilisé pour la détermination exacte des limites du bassin.

### Description de la zone d'étude :

Les zones oasiennes du pays s'étendent sur une superficie d'environ 115563 km² (15% de la superficie nationale) et englobent une population d'environ 1.733 millions d'habitants. Notre espace d'investigation fait partie de cette ceinture sud-atlasique; appelée: Oasis de Toudgha; elle est située au sud est du Royaume du Maroc (figure 1), dans la zone présaharienne. Elle s'étend sur une superficie estimée à 2800 km² (découpage selon la méthode de séparation des eaux). Il est limité au Nord et à l'Est par le grand bassin Gheris et Ziz, à l'ouest par les bassins d'Oum R'bia et Draa (Dades), enfin au Sud on trouve le bassin Maider (figure 2). Il constitue avec son arrière espace Ziz-Gheris une entité relativement homogène du point de vue géologique, morphologique, climatologique et végétale. Le sous bassin Toudgha se trouve enveloppé par deux structures montagneuses, au nord le Haut-Atlas; chaîne montagneuse plus élevée (environ 3000 m d'altitude) de formation calcaire. Il représente la réserve de ressources en eau en cas de neige. Au sud, l'extrémité orientale de l'Anti-Atlas connu sous le nom de Jbel Saghro et Ougnat (figure 3), plus ancien géologiquement et moins favorable à l'activité humaine. Entre les deux chaînes s'allonge la dépression sud-atlasique avec la plaine alluviale qui abrite l'espace oasien de Toudgha où se pratiquent la plupart des activités anthropiques des habitants de Toudgha. Administrativement, le bassin couvre un centre urbain (ville de Tinghir) et 05 communes rurales (cartes de localisation).

Figure 2 : localisation administrative et géographique du bassin Toudgha



Azougarh et al. / [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp.51-58

L'essentiel de leur alimentation en eau pérenne et de crues viennent du Haut Atlas. La plaine s'étend longitudinalement entre la latitude 30°40 et 32°00; elle est traversée par l'oued Toudgha qui garantit l'irrigation de l'amont et l'alimentation de la nappe phréatique en aval. La superficie agricole utile est de 4600 ha dont 79.1% des parcelles sont moins de 5 ha.

En amont du bassin, se trouve la station Aït Boujjane ; la seule station météorologique fonctionnelle du bassin ; la pluviométrie annuelle atteint une moyenne de 144 mm, elle est caractérisée par une forte irrégularité interannuelle.

### **RÉSULTATS ET DISCUSSION**

### Données climatiques contraignantes : Calcul de l'indice de précipitations standardisé

Les conditions naturelles, notamment le climat, sont déterminantes pour l'activité humaine dans l'oasis. Le climat est un dénominateur physique commun à toute la région du sud-est dont l'aridité est la principale caractéristique, en raison de très faibles précipitations (140-150 mm/an en moyenne) et des températures élevées pendant la majorité de l'année [5]. De plus, l'ouverture aux influences sahariennes de cette région favorise une forte évaporation et une hygrométrie réduite, ces facteurs ont fragilisé les ressources naturelles notamment hydriques pendant de longues périodes. Le tableau suivant illustre ces périodes réparties sur 53 ans d'observations:

**Figure** 3: Probabilité d'occurrence de chaque catégorie pour la station climatique d'Ait Boujjane au cours de la période

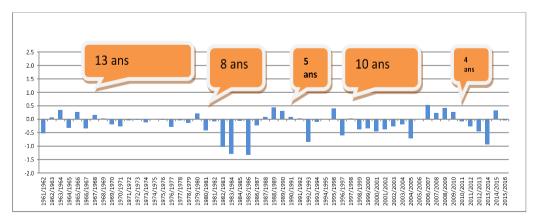
ndice SPI	Catégorie	(1962-2016) nbre d'années	de fois sur 100 ans	Fréquence
De I à 2	Humidité forte	0	0	0
De 0 à I	ımidité modérée	21	38	ous les 3 ans (2.6)
)e 0 à -1	heresse modérée	31	56	ous les 2 ans (1.7)
e -1 à -2	écheresse forte	3	5	tous les 18 ans

Les valeurs moyennes de l'indice SPI sont globalement négatives sur 34 années, alors que seules 21 années qui manifestent une humidité relativement modérée. Les valeurs ; négatives allant de - 0.03 à -1.3 ; sont réparties en moyenne 5,3 années sur 10, cette sécheresse est bien prononcée dans les années 70 et 80. Ces années sèches enregistrent un minimum de 40 mm en 1982/1983 et un maximum de 138 mm en 1971/1972, ce sont des années de migration et d'abandon de la terre.

Pour les années faiblement humides, elles sont 21, dans cette longue période de 55 ans, un tiers presque mais avec une pluviométrie moyenne de 212 mm. Notons, en outre que 334.7 mm est la valeur maximale sur cette période de 1962/2016.

En considérant toutes les années et toutes les stations à proximité du bassin, les conditions sèches l'emportent sur plus de 60 % des cas sur la période 1962-2016. Une humidité modérée se manifeste dans 38 % des cas sur la série étudiée.

Figure 4: l'indice SPI de la station Ait Boujjane entre 1962 et 2016.



Azougarh et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp.51-58

La crise climatique qui a frappé le bassin de Toudgha s'est jusqu'à présent manifestée par une augmentation des sècheresses modérées à fortes, et absence d'années humides prolongées. Les sècheresses modérées sont largement dominantes sur presque tous les quinquennats de 1962 à 2016 (de 56 à 61 % des cas). Le début des années 1980 fait un peu figure d'exception, avec une sècheresse plus accentuée.

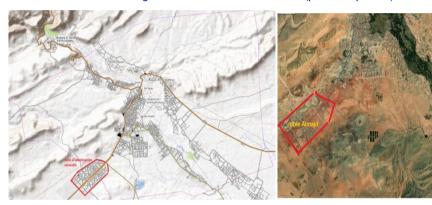
## Des interventions anthropiques démesurées :

#### Besoins en eau en constate évolution :

Du point de vue démographique, l'oasis de Toudgha a connu un boom démographique drastique (2.30% entre 1971 et 2004). En 1982 le centre urbain de Tinghir ne comptait que 10527 habitants, en 1994 ce chiffre a été multiplié par 3 pour atteindre 30471 ; un accroissement général de 19944 et un TAMA de 9.3% [6]. Cet accroissement de la population couplé au changement du mode de vie, a impacté directement les ressources hydriques dans l'usage domestique et aussi agricole.

En prenant la consommation domestique moyenne (rurale) de 80 l/hab/jour, ces besoins ont été de l'ordre de 2.3 Mm³ en 2004 et les projections futures prévoient une augmentation des besoins surtout avec les extensions de nouvelles zones d'urbanisation (Nouveau pole urbain en cours de construction ; voir image satellite).

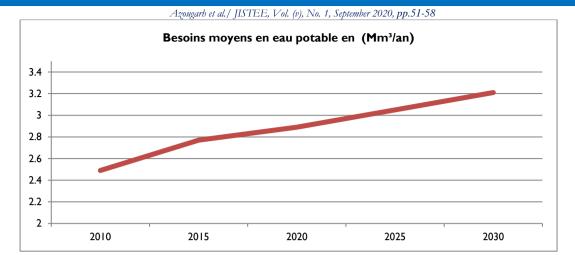




Ces extensions futures doivent répondre avant tout aux besoins en eau potable, alors nous présentons dans ce tableau cette demande en eau potable pour les habitants de l'oasis en tenant compte les projections démographiques des communes du bassin :

Figure 6: Évolution des besoins moyens en eau potable (Mm³/an)

	Besoins moyens en eau potable (Mm³/an)				
Communes du bassin / Années	2010	2015	2020	2025	2030
lmider	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13
Taghzoute N'Ait Atta	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47
Toudgha El Oulia	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19
Toudgha Soufla	0,3	0,41	0,42	0,43	0,44
Ouaklime	0,29	0,31	0,32	0,34	0,36
Tinghir	1,18	1,3	1,39	1,5	1,62
Total du bassin	2,49	2,77	2,89	3,05	3,21



Les besoins moyens en eau potable pour le bassin Toudgha (sans inclure les besoins des projets touristiques et industriels) seront de 3.2 Mm3/an à l'horizon 2035 ; soit une mobilisation supplémentaire de l'ordre de 0.32 Mm3/an par rapport à 2020. Cette mobilisation reste totalement dépendante du ciel mais également de la bonne gestion du disponible de la ressource.

### Besoins en eau agricole:

Dans ce volet, nous avons opté pour le calcul des besoins mensuels/annuels des cultures par application de la formule de Blaney-Criddle avec les coefficients culturaux. Les besoins de l'arboriculture sont pris égale 30% des besoins théoriques, cette hypothèse est justifiée aussi par la faible densité de plantations au niveau des parcelles et leurs éparpillements dans l'oasis de Toudgha.

Les besoins en eau bruts futurs pour l'ensemble du bassin Toudgha sont donnés comme suit :

	Périmètre irriguée totale (ha)	Mode d'irrigation	Demande nette en eau des cultures (m³/Ha)	Besoin en eau (Mm³/an)
lmider	299	Gravitaire et pompage	16000 à 20000	5,38
Taghzoute N'Ait Atta	1737	Gravitaire et pompage	16000 à 20000	31,27
Toudgha El Oulia	69	Gravitaire	16000 à 20000	1,24
Toudgha Soufla	857	Gravitaire et pompage	16000 à 20000	15,43
Ouaklime	825	Gravitaire et pompage	16000 à 20000	14,85
Tinghir	402	Gravitaire et pompage	16000 à 20000	7,24
Total du bassin	4189	Gravitaire et pompage	16000 à 20000	75,41

Figure 7: Demande en eau (Mm<sup>3</sup>/an) d'irrigation selon la surface agricole utile (SAU)

Les besoins en eau agricole pour la surface agricole utile (SAU) du bassin Toudgha sont d'environs 75 Mm³/an, ce chiffre est calculé pour l'année agricole 2004-2005, il reste dépendant des extensions prévues dans le cadre du Plan Maroc Vert ainsi que des différentes actions d'économie d'eau. En 2014, la SAU est passée dans l'oasis à 4650 ha avec une extension de 461 ha ; soit une mobilisation de 8.3 Mm3 par rapport à 2004. Ces chiffres risquent de grimper les prochaines années vue la multiplication de la culture de la pastèque, une culture très rentable mais exigeante en eau.

#### L'activité agricole et le mode d'irrigation :

Le système agricole dans l'oasis de Toudgha est caractérisé par un dualisme dans l'exploitation de l'eau. Des exploitations traditionnelles et modernes se longent tout le paysage. Bien que l'eau soit le facteur de production le plus déterminant, la technique d'irrigation pratiquée dans presque la moitié de l'oasis (surtout l'amont) est la technique ancestrale de la

Azougarh et al./ IISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp.51-58

submersion totale des parcelles (photo). L'initiative d'introduction des techniques modernes de préservation des ressources en eaux demeure timide sauf dans l'aval où la ressource fait rare contrairement à la terre plus répandue.

Figure 8 : modes d'irrigation moderne et traditionnelle dans l'oasis de Toudgha









À la suite des très fortes pressions exercées sur le milieu par le biais des retombées de l'argent de l'émigration introduit dans l'agriculture, la plaine de Toudgha voit son exploitation contrariée depuis l'assèchement de la nappe sur laquelle se base toute son activité agricole et humaine. Non seulement la forte implication des migrants dans le développement agricole a entraîné l'importante extension des superficies cultivées, mais elle a surtout été à l'origine d'une forte mécanisation de ce territoire qui conserve néanmoins un mode traditionnel. Dans ce même volet, l'intensification de l'utilisation des motopompes et plaques solaires accompagnée de la surexploitation de la nappe, contribuera, à moyen terme, à la dégradation rapide du système hydrique et par conséquent l'écosystème oasien en général.

#### CONCLUSION

Le bassin de Toudgha prend naissance à partir du haut Atlas. Celui-ci est le principal fournisseur d'eau aux périmètres agricoles de cette zone à la fois pour les eaux superficielles et les eaux souterraines. L'analyse de l'indice de précipitations standardisé montre que le bassin ne pourra satisfaire ces besoins en eau du fait de la succession des périodes de sécheresse et l'absence quasi-totale des années humides.

La fragilité des ressources hydriques résulte d'un déséquilibre entre la capacité de l'oasis et l'accroissement des besoins, la succession de la sécheresse et la multiplication anarchique du pompage et l'exploration de nouveaux périmètres par de nouvelles cultures no adaptées au contexte aride ; alors la nappe qui renferme le principal aquifère de cette zone se trouve stressée par cette intervention anthropique. Pour améliorer le niveau de cette nappe, Il est donc proposé de limiter l'exploitation de la nappe au niveau de la vallée à des niveaux profonds (au-delà de 120 m) Enfin, il est nécessaire de considérer l'espace oasien comme spécifique dans la mesure où le problème de l'eau est ici une nécessité territoriale vitale. La gestion de l'eau se rapporte en quelque sorte à une gestion de la pérennité territoriale puisqu'elle n'est pas uniquement une donnée naturelle, elle est fondamentalement un vecteur d'organisation socio-spatiale.

Azougarh et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp.51-58

#### Références

- [1] Kee, Thomas B., Nolan J. Doesken, and J. Kliest, 1993: The Relationship of Drought Frequency and Duraction of Time Scales, Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California.
- [2] Rapport de la 3 eme communication du Maroc à la convention cadre des nations unis sur les changements climatiques Avril 2016 page 160
- [3] Choubert G., Carte géologique d'Ouarzazate au 1/500000, Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc. N° 70. (1959).
- [4] Bentekhici N., Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie) ; Site web : https://www.esrifrance.fr/sig2006/bentekhici.html.
- [5] Mohamed Ait khandouch Les migrants, vecteurs de changement dans leur territoire d'origine : vallée de Todgha dans la sud-est marocain, Thèse de doctorat Université d' Angers2017 ; 340 pages, p 74.
- [6] Hcp Rapport thématique ; Démographie Marocaine : tendances passées et perspectives d'avenir 96 pages, p 82 ; ISBN 9954-405-28-3 N° Dépôt Légal 2005/2616.

Abdoulaye Barry, Aissatou Lamaran Bah, Amadou Tanou Diallo, Mamady Kourouma

Interaction du fumier et de la potasse sur le stress hydrique du riz

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

Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 59-64

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



# Interaction du fumier et de la potasse sur le stress hydrique du riz

Abdoulaye Barry<sup>1</sup>, Aissatou Lamaran Bah<sup>2</sup>, Amadou Tanou Diallo<sup>3</sup>, Mamady Kourouma<sup>4</sup>

#### Résumé:

Les tendances de changements climatiques à Faranah en Guinée se remarquent par une augmentation de la durée de la saison sèche affectant les ressources en eau avec conséquences sur l'agriculture pluviale. Pour l'adaptation de la riziculture pluviale à cette situation climatique, une étude a été menée avec pour objectif l'amélioration de la résistance d'une variété locale de riz, Samaka, au stress hydrique à travers une fumure organique et minérale. L'essai a été monté sur un dispositif split-plot à trois répétitions avec semis échelonné sur trois dates (15-25 juin et 4 juillet) de manière à faire coïncider une partie du cycle au déficit hydrique de fin d'hivernage. Les niveaux du facteur engrais ont été D1=30 tonnes de fumier, D2=100kg de potasse et D3=15t de fumier+50kg de potasse. Le logiciel Genstat a été mis à contribution pour les analyses statistiques. Au terme de l'essai, Il a été contaté qu'il existe une différence statistique significative au seuil de 5% au niveau de l'interaction dose x dates pour les facteurs nombre total de talles, volume et longueur racinaires. Cette différence est hautement significative (1%) au niveau de l'interaction pour le nombre de talles fertiles, le nombre de grains par épi et le rendement. Le rendement a été le plus sensible au stress hydrique (1=87,93%) pour le témoin sans engrais en condition de stress hydrique sévère avec 0,53 T/ha. Le riz soumis au fumier a, en condition de stress modéré, manifesté la plus faible sensibilité au stress (I=23,44%) pour un rendement de 3,79 T/ha. Le fumier peut donc être mis en contribution pour améliorer la résistance du riz au stress hydrique

Mots-clés: Stress, Riz, Samaka, fumier, potasse, Faranah, Guinée.

# Interaction of manure and potash on the water stress of rice

#### **Summary:**

The climate change trends in Faranah in Guinea are notable for an increase in the duration of the dry season affecting water resources, with consequences for rainfed agriculture. For the adaptation of rainfed rice to this climatic situation, a study was conducted with the aim of improving the resistance of a local rice variety, Samaka, to water stress through organic and mineral manure. The test was mounted on a split- plot device with three repetitions and sowing on three dates (June 15-25 and July 4) so as to make part of the cycle coincide with the water deficit at the end of wintering. Fertilizer factor levels were D1 = 30 tonnes of manure, D2 = 100kg of potash and D3 = 15t of manure + 50kg of potash. Genstat software has been used for statistical analysis. At the end of the trial, it was contended that there is a significant statistical difference at the 5% threshold at the dose-x date interaction for factors total number of tillers, root volume and root length. This difference is highly significant (1%) at the interaction level for the number of fertile tillers, number of kernels per ear, and yield. Yield was most sensitive to water stress (I = 87.93%) for the control without fertilizer under severe water stress with 0.53 T / ha. The rice subjected to manure, under moderate stress, showed the lowest sensitivity to stress (I = 23.44%) for a yield of 3.79 T / ha. Manure can therefore be used to improve rice resistance to water stress. Keywords: Stress, Rice, Samaka, Manure, Potash, Faranah, Guinea.

Keywords: Stress, Rice, Samaka, manure, potash, Faranah, Guinea

Page 59

Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah Guinée, Quartier Marché 2 Faranah-Centre,

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Institut Supérieur Agronomiqueet Vétérinaire de Faranah Guinée, Faranah Quartier Marché 2 Faranah-Centre, BP : 131,

<sup>3</sup> Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah Guinée, Quartier Dandaya Faranah-Centre BP : 131

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Institut de Recherches Agronomiques de Guinée, Conakry Quartier Simbaya Gare, BP: 152

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: <u>barrytimbi2@gmail.com</u>

Barry et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 59-64

### INTRODUCTION

Les études de MAEE (2007) et Barry et Sivakumar (1997) confirment que la tendance à la baisse des précipitations et à l'augmentation de la température accompagnée d'autres facteurs comme la croissance démographique rendent très vulnérables les ressources en eau aux changements climatiques. Les rendements du riz sont fortement dépendants de l'alimentation hydrique et du degré de tolérance à la sécheresse des différentes variétés (Reynier et Jacquot, 1978; Forestier, 1979; Diallo, 1989; Fukaï et al., 1997; Hema et al., 2002; Koulibaly et al., 2002). Ainsi, les perturbations du régime des pluies entrainent une instabilité au niveau de la production agricole en général, rizicole en particulier. Pour pallier au déficit pluviométrique progressif, l'utilisation de la matière organique pourrait être envisagée (Diallo et al. 2007). La conservation de l'eau facilement utilisable dans le sol est proportionnelle à la teneur en humus du type moder (Diaz, 1970).

Les engrais organiques sont des régulateurs du régime hydrique du sol. Le fumier bien décomposé apporte au sol de l'humus qui, après décomposition, est capable de retenir deux fois son volume en eau (Orlov, 1985).

La fumure potassique à travers l'élément potassium augmente la résistance des plantes à la sècheresse, notamment le riz. Le potassium exerce une influence avant tout sur le renforcement de l'hydratation des colloïdes du cytoplasme en élevant leur niveau de dispersion. Ce qui aide les plantes à mieux retenir l'eau et résister aux sècheresses temporaires (Barry et Kourouma, 2014; Mengel et Arnake 1982; Oularé et Barry, 2012).

Aussi, une fumure organique et potassique équilibrée contribuerait à la résistance du riz au stress hydrique. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente proposition de recherche avec pour objectif général l'amélioration de la résistance d'une variété locale de riz – Samaka- à la sècheresse à travers la fumure organique et minérale dans le cadre de l'adaptation au changement climatique.

#### **MATERIEL ET METHODES**

#### **Matériel**

Pour la réalisation de la recherche, un essai a été monté à Foulaya dans le Secteur Dandaya de la Commune Urbaine de Faranah en riziculture pluviale avec une variété locale de riz, Samaka, sur un dispositif en split plot à trois répétitions. Les engrais utilisés ont été le fumier et la potasse avec 4 niveaux : D0=témoin sans engrais, D1=30 tonnes de fumier, D2=100kg de potasse et D3=15t de fumier+50kg de potasse. Les semis ont été échelonnés de manière à faire coïncider une partie de leur cycle au déficit hydrique de fin d'hivernage. Aucun apport artificiel d'eau n'a été fait. Les niveaux du facteur date ont été : 15 ; 25 juin et 4 juillet. La combinaison des deux facteurs a donné 12 variantes répétées trois fois soient au total 36 parcelles élémentaires.

### **Méthodes**

En cours de végétation, ont été observés : la levée, le stade de trois feuilles, le tallage, la montaison, l'épiaison et la maturation. Ont été évalués : le nombre de talles fertiles par plant, la hauteur des plants à la récolte. Après la récolte ont été appréciés la longueur racinaire, le volume racinaire, le nombre de grains par épi, le nombre de balles vides et le rendement. Les relevés météorologiques sont ceux de la station de l'ISAV de Faranah située à 6 km au sud-ouest du domaine expérimental.

Le degré de sensibilité d'un paramètre morpho physiologique ou biochimique au stress hydrique a été déterminé à travers l'indice de sensibilité par la formule : Zombré et al. (1994) : S% = (Paramètre mesuré sur T - Paramètre mesuré sur M ou S)/T x100

L'indice moyen de sensibilité de chaque paramètre a été déterminé en faisant la moyenne de son indice de sensibilité aux stress modéré et sévère : S% Modéré + S% Sévère)/2

Le logiciel Genstat a été mis à contribution pour les analyses statistiques. La méthode d'analyse de variance a été utilisée avec comparaison des moyennes au moyen du test de la plus petite différence significative (ppds).

Barry et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 59-64

#### **RESULTATS**

La durée des phases végétatives a été uniforme pour toutes les variantes en condition d'alimentation hydrique naturelle ordinaire et en stress modéré pour la levée, le stade de trois feuilles et le tallage et l'épiaison. Toutefois en stress hydrique sévère de fin d'hivernage qui a coïncidé à la fin de la montaison et à la phase de l'épiaison il a été enregistré un retard de 5 jours. Ce qui a entrainé le prolongement du cycle jusqu'à 130 jours au lieu de 125.

## **Evaluations biométriques**

Il a été observé une différence statistiquement significative au seuil de 5% au niveau de l'interaction doses  $\times$  dates des paramètres nombre total de talles, longueur et volume racinaires. Ce qui signifie une certaine interdépendance entre ces facteurs pour ces paramètres. La différence statistique est hautement significative au niveau de tous les autres paramètres pour les facteurs doses et dates individuellement pris. Cela demeure aussi pour l'interaction des facteurs A  $\times$  B pour les paramètres nombre de talles fertiles, le nombre des grains par épi et le rendement (figures 1,2 et 3). Pour ces paramètres, la dépendance des facteurs étudiés est très étroite.

#### Sensibilité au stress hydrique

De tous les paramètres qui ont fait l'objet d'analyse, le rendement du témoin sans fumure a été le plus affecté par le stress hydrique. Il a affiché une diminution de 73,01 % en stress modéré et 87,93% en stress sévère pour un indice moyen de sensibilité de 80,47%. Le riz a manifesté la plus grande résistance au stress hydrique (0,51% de diminution), par rapport au rendement aux doses D1 (30 t de fumier) et D3 (15t de fumier + 50 Kg de potassium) en stress modéré. Globalement le rendement est inversement proportionnel au niveau de stress alors qu'il est proportionnel à l'augmentation de doses d'engrais. Cette tendance est la même pour les autres paramètres avec un degré moindre. Toutefois il y a lieu de noter qu'avec le stress hydrique, certains paramètres ont connu une certaine augmentation. C'est le cas des paramètres longueur racinaire, volume racinaire et nombre de balles vides pour lesquelles les valeurs ont augmenté avec l'élévation du niveau de stress.

# Interprétation et discussion des résultats

L'uniformité de la durée des phase d'épiaison et de maturation du riz constatée à Faranah en situation hydrique normale et de stress modéré a été également mentionnée par Diallo et al. (2007) dans les résultats de leurs travaux sur l'influence du stress hydrique sur trois variétés de riz. Le cycle de 125 jours en condition hydrique normale se confirmé par Camara (2013) dans ses travaux sur les changements climatiques en agriculture. En ce qui concerne la phénologie, le stress sévère a coïncidé à la période de la montaison du riz de la date d3.

Cela a contribué au retard pour le reste des phénophases de cette variante avec répercussion sur les paramètres biométriques. Ce qui a induit un prolongement du cycle de 5 jours. Chez le riz, une période plus ou moins prolongée de sècheresse avant l'épiaison semble prolonger le cycle des plantes de quelques jours (Dobelman, 1976 ; Forestier, 1979 ; Kramer ; 1983 ; Diallo et al., 2007). Tous les paramètres mesurés ont manifesté une sensibilité (positive ou négative) au stress hydrique avec des degrés divers. Cette sensibilité est moindre en stress modéré par rapport au stress sévère. La fluctuation des indices de sensibilité des plantes à la sècheresse est une conséquence logique de la variation des indices moyens de sensibilité des paramètres morphologiques au déficit hydrique (Monneveux et This, 1997 ; Monneveux et Nemmar, 1986). Les valeurs de certains paramètres morphologiques (nombre de talles fertiles, nombre de grains par panicule, rendement ...) subissent une réduction d'autant plus grande que le déficit est prononcé, Forestier (1979), Monneveux et D. This (1997), Diallo (2003), Diallo et al. (2007). Le paramètre nombre total de talles a affiché une différence statistiquement non significative aussi bien pour le facteur dose que pour le facteur date. Ce qui n'est le cas pour le nombre de talles fertiles. Ce qui corrobore avec, Forestier (1979) qui note qu'un fort déficit de proline n'affecte pas le nombre de talles par plant mais diminue le nombre de talles fertiles. Les paramètres nombre de grains par panicule et nombre de grains pleins sont inversement proportionnels au niveau de stress. La sècheresse pendant la montaison diminue le nombre de grains et le pourcentage de grains pleins Gloria (2002). Une sècheresse survenue autour de l'épiaison, stade le plus sensible au déficit hydrique, augmente le pourcentage de grains vides Dobelman (1976). La longueur racinaire (-5,52; -6,79%), le volume racinaire (-12,18; -29,64%) tout comme le nombre de grains vides (-0,76 ; -5,85%) ont affiché des valeurs moyennes d'indices de sensibilité au stress hydrique négatives. Ce qui veut dire que les valeurs de ces paramètres ont connu une certaine augmentation au fur et à mesure que le niveau de stress augmente. En effet, le déficit hydrique induit le développement racinaire qui se traduit par un volume racinaire important car il provoque chez les plantes stressées une réduction de la croissance, en hauteur, de la matière sèche totale et une allocation de la biomasse vers les racines au détriment des parties aériennes Albouchi (2003). L'élongation racinaire est une réaction physiologique de la plante au déficit hydrique qui la conduit à chercher l'eau dans les couches profondes du sol en allongeant ses racines (Forestier, 1979). Le rendement, toutes variantes confondues, a progressivement baissé Barry et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 59-64

avec le semi tardif date (d3 - stress sévère). Le rendement du témoin à la date d3 en stress sévère a été le plus sensible avec un indice moyen de sensibilité de 87,93%. Le déficit hydrique peut provoquer une importante baisse de rendement en riziculture pluviale (Fukaï et al., 1997, Monneveux et This (1997), Barrakat et Handoufe (1998), Diallo et al. (2007). La dose D1 (30 tonnes à l'hectare de fumier) a manifesté la plus grande résistance au stress avec un indice moyen de sensibilité de 23,44% en condition de stress modéré et 62,46% en stress sévère. Dans les conditions de déficit hydrique, l'influence de la matière organique sur le régime hydrique reste déterminante pour l'obtention de bonnes récoltes (Diallo 1989; Diallo et al. 2007). Par rapport au potassium, la variante avec fumure unilatérale de 100 Kg de potassique (D2) vient en troisième position après le fumier et la combinaison fumier-potasse. Cela s'expliquerait par l'absence de l'élément azote pour cette variante. Il y a lieu de signaler que malgré cela le rendement de cette variante a été meilleur par rapport au témoin sans engrais.

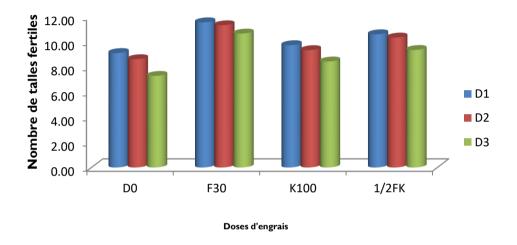


Figure 1 : Interaction date de semis et doses d'engrais sur le Nombre de Talles Fertiles

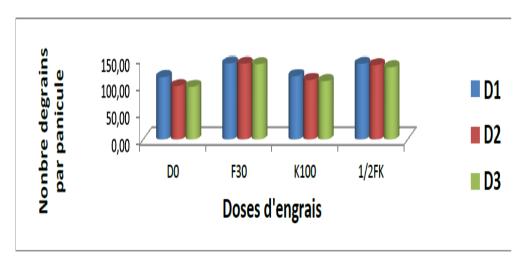


Figure 2 : Corrélation date de semis et doses d'engrais sur le nombre de grains par panicule

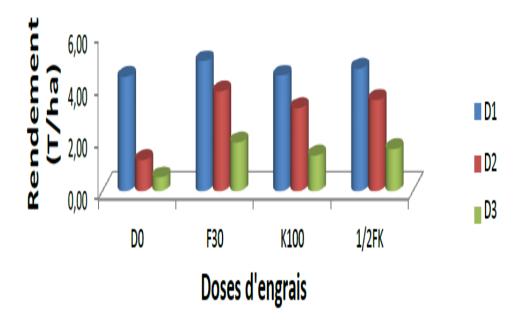


Figure 3: Corrélation dates de semis et doses d'engrais sur le rendement

#### CONCLUSION

Au terme des travaux il a été constaté deux niveaux de stress (modéré et sévère). Les différentes variantes de fumures mises en compétitions à des dates différentes ont eu des effets interactifs sur certains paramètres analysés. Le fumier a été le plus performant en matière de résistance du riz au stress hydrique. La combinaison du fumier avec la potasse a eu une efficacité intermédiaire. Le nombre de balles vides, la longueur et le volume des racines ont augmenté avec le stress et affiché des valeurs négatives. La tendance globale commune à tous les paramètres est que le degré de sensibilité au stress hydrique est très élevé avec le témoin sans engrais et ces paramètres ont subi une réduction pour les uns et une augmentation pour les autres d'autant plus sensible que le déficit hydrique est prononcé.

#### Références bibliographiques

- 1. Albouchi A., Bejaoui Z., Aouni M. H., 2003. Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la croissance de jeunes plants de Casuarina glaucaSieb. S-cheresse 14 (3) pp. 137 42
- Barrakat F. et Handoufe A., 1998. Approche agroclimatique de la sècheresse agricole au Maroc. Sècheresse 9 (3) Pp 201 – 208.
- 3. Barry A. B. et Sivakumar M. V. K., 1997. Agro climatologie de l'Afrique de l'Ouest : la Guinée. ICRISAT ACMAD, France. Direction Nationale de la Météorologie. 85 p.
- 4. Barry A. et Kourouma M., 2014. Agrochimie générale, Editions Universitaires ISAV -F, Guinée. 85 p.
- 5. Camara S., 2013. Atelier sur les impacts du changement climatique sur l'agriculture et la sécurité alimentaire.
- Diallo D., 2003. Résistance à la sècheresse du riz : criblage variétal en phase végétative. Thèse de DEA Université Ouagadougou. 50 p.
- Diallo D., Barry B. et Ouendéno F. A., 2010. Influence de la fumure organique sur la résistance du stress hydrique du riz NERICA 3 (450 IBP 28HB) à l'ISAV. AGROVISION NO 009. Semestriel de l'ISAV
- 8. Diallo D., Tamini Z., Diallo S. B. et Oulare B., 2007. Influence du stress hydrique sur la croissance et le

Barry et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 59-64

- développement de trois variétés de riz pluvial. AGROVISION NO 004. Semestriel de l'ISAV
- 9. Diallo S. B., 1989. Influence de la matière organique su la fertilité de quelques types de sols dans les conditions extrêmes d'humidité. Thèse de Doctorat.Moscou URSS.
- Diaz Z. J., 1970. Influencia del tipomateriaorganic del suelosobreelcontenido en aguaaprovechablepor las plantas. An Edafol. Y Agricult. 29, nº 3 – pp 233 6 243.
- 11. Dobelman J., 1976. Riziculture pratique 2. Riz pluvial. PUF. IBN 2 85319 024 2 p. 123
- 12. Forestier J., 1979. Inventaire pour une étude de résistance à la sécheresse du riz pluvial. Labo d'Ecologie Générale 31 pages, Paris, France
- 13. Fukaï S., Cooper M. et Salisbury J., 1997. Breeding strategies of rainfed lowland rice in drought prone environments. ACIAR. Actes. ISBN 1 86320 201 3 p 248.
- Gloria, S. C. Ito O., et Alejai A. A. Physiological evaluation of response of rice (Oryzasativa L.) to water deficit. Plant Science, vol. 164 Issue 3 2002 pp 815 – 827.
- 15. Hema D., Zombre G., Sie M. et Kabore B. 2002. Elongation des feuilles, transpiration, utilisation efficiente de l'eau et rendement grain du riz en condition de stress hydrique. *In*: Actes) pp 7 13. Centre de Recherche de Farakobâ, Bobo- Dioulasso, Burkina Faso.
- Koulibaly F., Traore H et Tiendrebeogo I., (2002). Le riz au Burkina Faso: Production, commercialisation, consommation, recherche Eurêka. N° 41/42 ISBN 1019 – 6927; 77 p.
- 17. Kramer P. J., 1983. Water relationsships of plants. Agronomy press. New York. 489 p.
- 18. MAEE Ministère Guinéen de l'Agriculture, de l'Elevage, des Eaux et Forêts), 2007. Plan d'Action Nationale d'Adaptation (PANA) aux changements climatiques de la République de Guinée, Conakry.
- 19. Mengel K.et Arnake W. W., 1982. Effect of potassium the water potential, the pressure potential, the osmotic potential and cell elongation in *leaves of Phaseolus vulgaris*, Physiolo. Plant
- 20. Monneveux P. et This D., 1997, La génétique face au problème de résistance des plantes cultivées à la sècheresse. Sècheresse 8 pp29 37.
- 21. Monneveux P., et Nemmar M., 1986. Contribution à l'étude de la résistance à la sècheresse du blé tendre (*Tritium aestivum*) et le blé dur (*Tritium dura*) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomi 6 pp 583 590.
- 22. Orlov D. C., 1985. Chimie des sols, Université Lomonossov de Moscou.
- 23. Oularé B. et Barry A., Agrochimie 2012. Deuxième et troisième parties, revu et corrigé,; Editions Universitaires ISAV Faranah. Guinée
- 24. Reynier F. N. et Jacquot M., 1978. Démarche pour l'obtention de la résistance à la sécheresse : cas du riz pluvial. Agron. Trop. XXXIII 4 pp 314 317.
- 25. Zombré G., Zongo J. D., et Sankara E. T.P., 1994. Réponse physiologique du niébé au déficit hydrique s'exerçant uniformément au cours du cycle de développement *African Crop Science Journal*. Vol 2, n°3, pp 225 231.

Boughdiri Amor, Gouider Tibaoui, Chaima Sdiri

Effet de stress hydrique sur le comportement de quelques écotypes de lupins collectés de différentes régions de

la Tunisie dans un contexte de changement climatique

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

Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 65-74

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



# Effet de stress hydrique sur le comportement de quelques écotypes de lupins collectés de différentes régions de la Tunisie dans un contexte de changement climatique

Boughdiri Amor<sup>1</sup>, Gouider Tibaoui<sup>2</sup>, Chaima Sdiri<sup>3</sup>

#### **RESUME**

Ce travail a pour but l'étude de l'effet de stress hydrique, l'évaluation des variabilités des réponses et le degré de tolérance à la sécheresse chez le lupin blanc, bleu et jaune d'origine locale.

La première partie s'intéresse à l'effet de stress hydrique sur le taux et la cinétique de germination sous neuf différentes concentrations de polyéthylène glycol 1500 (PEG-1500) (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 15 et 16%) avec un témoin (0%). Les résultats ont montré que les différentes doses n'ont pas influencé le taux de germination mais ont causé une diminution de la cinétique de germination de plus en plus que la concentration en PEG augmente.

Dans la deuxième partie, on a étudié l'effet de déficit hydrique sur les comportements agronomiques et physiologiques des plantes (la transpiration, la surface foliaire, le chlorophylle et la teneur relative en eau), biochimiques (accumulation de proline, de sucres totaux et de sucres réducteurs) après 20, 40 et 60 jours de stress. Les paramètres de rendement ont été étudiés après 60 jours de stress. Les régimes hydriques adoptés sont 90% (témoin), 75%, 50% et 25% de la réserve utile RU du sol. Les résultats obtenus montrent un effet significatif (P<0.0001) des différents traitements hydriques sur les paramètres étudiés et que toutes les accessions ont développés les mêmes mécanismes de réponse avec des différents degrés de tolérance.

Mots clés : Accession, lupin, stress hydrique, paramètres agro-physiologiques, tolérance, mécanismes de réponses

# Effect of water stress on the behavior of some ecotypes of lupines collected from different regions of Tunisia in a context of climate change

#### Abstract

This work aims to study the effect of water stress, the variability of response and the drought tolerance of white, blue and yellow lupine of local origin.

The first part focuses on the effect of water stress on germination rate and kinetics under nine different concentrations of polyethylene glycol 1500 (PEG-1500) (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 15 and 16 %) with a control (0%) The results showed that the different doses did not influence the germination rate but caused a decrease in the germination kinetics more and more that the PEG concentration increases.

In the second part, the effect of water deficit on the agronomic and physiological behavior of plants (transpiration, leaf area, chlorophyll and relative water content), biochemical (accumulation of proline, total sugars and reducing sugars) after 20, 40 and 60 days of stress. The performance parameters were studied after 60 days of stress. The water regimes adopted are 90% (control), 75%, 50% and 25% of the useful soil reserve RU. The results obtained show a significant effect (P <0.0001) of the different water treatments on the parameters studied and that all the accessions have developed the same response mechanisms with different degrees of tolerance.

Key words: Accession, lupine, water stress, agro-physiological parameters, tolerance, response mechanisms

\_

<sup>&</sup>lt;sup>1,2</sup> Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, Route de Tabarka 7030, Mateur

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Institut National Agronomique de la Tunisie, 43 Avenue Charles Nicolle, cité Elmahrajene 1001

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: amor.boughdiri@yahoo.fr

Boughdiri et al./ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 65-74

#### INTRODUCTION

Les changements climatiques se caractérisent principalement par une diminution de la disponibilité de l'eau et une augmentation de la température. Vers 2050, les quantités de précipitations dans les pays du nord de l'Afrique seraient réduites de 20 à 50% par rapport aux valeurs moyennes actuelles (Raga et Prudhomme, 2002)

La Tunisie est considérée parmi les pays les moins dotés en ressources en eau dans le bassin méditerranéen, la potentielle eau mobilisable est de l'ordre de 4800 million m³, représente un quota inférieur à 500m³/habitant/an. (Louati, 2004)

Selon Hsiao (2009), l'eau reste le facteur le plus limitant de la production agricole dans les régions du monde où les pluies ne sont pas suffisantes pour satisfaire les besoins hydriques des cultures.

Au niveau mondial, L'Océanie (principalement Australie occidentale) produit 75,3% de la production mondiale de lupin avec 644 340 t de lupin produit annuellement (moyenne sur 5 ans, 2011 à 2016). Ceci représente une surface moyenne de 491 900 ha (ABARES, 2016). La Biélorussie, le Chili, l'Union européenne et la Fédération de Russie produisent une quantité de lupin relativement faible comparée à l'Australie (Keogh, 2010).

En Tunisie il n'existe que douze espèces du genre Lupinus L. qui sont totalement différenciées et forment de nos jours un groupe d'espèce isolé (Gladstones, 1974) en cours d'extinction.

Le stress hydrique est une contrainte multiforme qui s'exprime à différents niveaux de l'organisation de la plante. MAdhava Rao et al (2006) a défini le stress hydrique quand la demande des plantes en eau dépasse l'eau disponible pendant une période précise.

D'autre part, Rodriguez et al (2010) a considéré le stress hydrique comme l'un des stress environnementaux les plus importants qui affecte la productivité agricole.

Différents mécanismes adaptifs sont alors mis en jeu par la plante pour maintenir un état hydrique favorable et ou tolérer le déficit.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui vise à étudier les comportements agronomiques et physiologiques de 3 écotypes de lupin dans les conditions de stress hydrique.

#### **MATERIEL ET METHODES**

#### Présentation de la zone d'étude

L'essai a été réalisé sous abri à l'Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, appartenant au gouvernorat de Bizerte à 70 Km au Nord-Ouest de la Tunisie et à l'étage bioclimatique subhumide qui se caractérise par un hiver doux et pluvieux avec une moyenne de pluviométrie de 533 mm et un été chaud et sec. Les cordonnées GPS sont: l'attitude est de 37°03'N et la longitude est de 9°37'E





Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

#### Matériel végétal

Vue l'importance fourragère de lupin et son importance dans la substitution de soja, on a envisagé d'étudier le comportement des accessions de lupin bleu, jaune et blanc vis-à-vis au stress hydrique.

Elles sont dénommées respectivement A1, Á2, A3, A4, A5 et A6 dont A1, Á2, A3 et A5 sont des lupins bleus, A4 lupin jaune et A6 lupin blanc. Ces accessions proviennent essentiellement des régions du Nord de la Tunisie : Nabeul et Bizerte.

Boughdiri et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 65-74



Figure 2: Les différentes accessions utilisées

#### Protocole expérimental

Le semis a été effectué le 19 janvier 2018, à raison de 25 graines par pot. Le nombre des pots par variété est 12. Les pots sont en plastique, de diamètre moyen 30 cm et de hauteur 29 cm. Les pots sont placés sous l'abri pour contrôler l'alimentation hydrique et répartis selon les traitements hydriques correspondants : T0: 90% de la capacité de rétention de l'eau (témoin) T1: 25% de la capacité de rétention de l'eau, T2:50% de la capacité de rétention de l'eau, T3:75% de la capacité de rétention de l'eau. Le dispositif expérimental adopté est un dispositif factoriel en bloc complet aléatoire avec trois répétitions dont le premier facteur est l'effet variétal et le second facteur est l'effet des différents traitements hydriques (figure 2).

Le substrat de culture formé par le sol de Sajnene et tourbe a été préalablement bien mélangé puis subit un tamisage pour éliminer les débris et finalement mis dans l'étuve à 60°C pendant 24h dans le but de séchage.

Les pots ont été remplis de substrat de culture avec des proportions appropriées :

- 4 150g de gravier au fond du pot pour assurer un bon drainage
- 5kg350 de sol de Sejnane+tourbe
- $\rightarrow$  Poids final du pot = 5kg772

On a maintenu les plantes sous une irrigation régulière qui garantit 100% de leur réserve utile pendant 8 semaines avant de commencer l'application de stress

Le semis a été fait le 14 Février 2019.

On a semé 5 graines par pot avec 4 pots par accession désignant 4 traitements dont chacun est répété 3 fois (15 graines par traitement par accession)

Ces gaines ont été préalablement scarifiées, mises dans l'eau distillée stérile pendant 24 h et sont par la suite transférées et mises en germination dans 72 pots plastiques dont leurs dimensions sont :

- Diamètre supérieur : 25.5cm
   Diamètre inférieur : 15.5cm
- ♣ Hauteur : 23cm
- Détermination des niveaux de stress

L'évaluation de l'impact du stress hydrique sur les accessions de lupin se fera à travers 4 niveaux de potentiel hydrique :

- T0 : lot témoin, le sol est maintenu à 90 % de sa capacité au champ
- \* T1 : le sol est maintenu à 75 % de sa capacité au champ
- ♣ T2 : le sol est maintenu à 50 % de sa capacité au champ
- T3 : le sol est maintenu à 25 % de sa capacité au champ

Le dispositif expérimental adopté est un dispositif factoriel en bloc complet aléatoire avec trois répétitions dont le premier facteur est l'effet variétal et le second facteur est l'effet des différents traitements hydriques

#### Paramètres mesurés et méthodes utilisées

Les paramètres mesurés au sein du laboratoire sont : la surface foliaire, la transpiration, la teneur relative en eau, la proline, les sucres totaux, rendement en grains.

Ainsi, les stades pendant lesquelles on fait les prélèvements sont les suivants :

- Stade jeune : 20jours après l'application du premier stress
- Stade intermédiaire : 40 jours après l'application du premier stress
- Stade âgé : 60 jours après l'application du premier stress

Boughdiri et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 65-74

#### Surface foliaire

Le principe de la détermination de la surface foliaire consiste à détacher une feuille par accession, par traitement et par répétition, les étaler sur une feuille blanche et bien attacher leurs extrémités. Puis on a tracé un segment de l cm pour préciser l'échelle et on a pris des photos. A la fin, toutes les images ont été traitées par un logiciel « Mesurim » et tous les résultats ont été affichés sur l'écran en cm².

#### **Transpiration**

Pour la réalisation de cette expérience, on a découpé pour chaque accession une feuille par traitement et par répétition. On l'a recouvert par un papier aluminium et l'a mis dans une glacière afin de préserver son poids frais et les transporter au laboratoire où on a pesé les feuilles immédiatement à l'aide d'une balance sensible aux milligrammes. On a obtenu le poids frais.

La pesée de chaque feuille se répète toute les vingt minutes jusqu'obtenir un poids constant qui est le poids final. Ainsi, l'évolution de la quantité d'eau transpirée est exprimée selon la formule suivante :

Transpiration (mg d'eau/min/cm²) = Poids frais-Poids final
Durée de transpiration •Surface fomiaire (1)

#### Teneur relatiive en Eau: TRE

Le concept de la détermination de la TRE consiste à détacher une feuille et la peser immédiatement pour obtenir le poids frais Pf puis cette partie sectionnée a été mises dans une boite de pétri, submergée d'eau distillée et mise à l'obscurité pendant 24h. A la fin, la feuille a été récupérée et délicatement essuyée par un papier buyard pour éliminer l'eau de surface, par la suite on l'a pesé à l'aide d'une balance de précision pour obtenir le poids de saturation Psat ou le poids en plein turgescence Ppt et l'a fait séché dans l'étuve à 60°C pendant 24h pour obtenir le poids sec Psec. En appliquant la formule de **Barrs (1968)** on a pu déterminer la TRE :  $TRE (\%) = \frac{Pf - Psec}{Ppt - Psec} * 100$ 

TRE (%)= 
$$\frac{Pf-Psec}{Ppt-Psec} * 100$$
 (2)

#### Dosage de proline

C'est un acide aminé jouant un rôle important dans la structure des protéines et fait exception des vingt acides aminés. La proline est synthétisée à partir de l'acide glutamique via la pyrroline 5-carboxylate mais également de l'arginine et l'ornithine. Il est oxydé par la ninhydrine formant ainsi un complexe colorant dont l'intensité de coloration est liée à la quantité de proline présente dans l'échantillon

L'accumulation de la proline est l'une des manifestations les plus remarquables chez les plantes soumises au stress hydrique

La méthode utilisée est celle de Toll et Lindsley (1955) simplifiée et mise au point par Dreider et Goring (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986).

#### Sucres totaux

Les sucres solubles totaux sont: saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides. Les techniques de dosage modifiées selon Dubois et al (1956).

### Sucres réducteurs

La méthode utilisée pour le dosage des sucres réducteurs est celle de Millier (1959) à l'aide de l'acide dinitrosalicylique DNS qui est considéré comme un moyen de détermination de la teneur en sucres réducteurs libres présents dans les échantillons à doser :

#### Teneur en chlorophylle

L'appareil utilisé pour cette action est Le SPAD-502. Il s'agit de mesurer l'absorption énergétique dans des bandes de longueur d'onde correspondant au rouge et à l'infra :

### Rendement en grains

Le nombre des grains est déterminé le 12 juin 2019 au stade mature des graines. En effet on a déterminé le nombre des plantes et leur poids en grains pour chaque écotype, chaque traitement et chaque répétition. Ce paramètre est déterminé selon la relation suivante :

Rendement en grains  $(g|plante) = \frac{poids\ des\ graines}{nombre\ de\ plante}$  (3)

Boughdiri et al./ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 65-74

#### **RESULTATS ET DISCUSSION**

# Effet de stress hydrique sur les paramètres agro-physiologique La surface foliaire

L'analyse des résultats montre une réduction hautement significative (P<0.0001) de la surface foliaire en fonction des traitements et de la durée de stress.

En effet, au premier stade il y a une réduction par rapport au témoin de 57% chez l'accession A1, 37% chez l'accession A2, 61% chez l'accession A3, 51% chez l'accession A4, 75% chez la cinquième accession et 70% chez la sixième accession

Par contre au deuxième stade on a une réduction de la surface foliaire 57%, 72%, 57% 74%, 70% et 75% chez les accessions respectivement A1, A2, A3, A4, A5 et A6

Ainsi, pendant le troisième stade la surface foliaire est réduite par rapport au témoin de 61%, 82% et 75% chez respectivement les accessions A1, A2 et A3 mais les accessions A4, A5 et A6 n'ont pas pu supporter le régime hydrique sévère 25% pendant ce stade et on a observé la mort des plantes qui ont subi ce régime

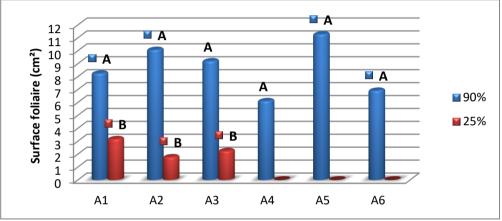


Figure 1: Variation de la surface foliaire après 60 jours de stress

#### La transpiration

L'analyse de la variance montre une réduction hautement significative de la transpiration en fonction des traitements, des accessions et de stade de stress hydrique

En outre après 20 jours de stress la transpiration est réduite par rapport au témoin de 43%, 62%, 58%, 27%, 71% et 71% chez respectivement les accessions A1, A2, A3, A4, A5 et D'autre part, après 40 jours la diminution de la transpiration par rapport au témoin a atteint 60%, 75%, 65%, 71%, 70% et 77% respectivement chez les accessions A1, A2, A3, A4, A5 et A6. Cette diminution est aussi remarquable après 60 jours de stress par rapport au témoin et a atteint 67%, 77% et 80% chez les accessions A1, A2 et A3 mais les accessions A4, A5 et A6 n'ont pas pu supporter le régime hydrique sévère 25% pendant ce stade et on a observé la mort des plantes qui ont subi ce régime. En effet, en condition de stress hydrique, la plante ferme ses stomates pour éviter de se dessécher. Cette fermeture

En effet, en condition de stress hydrique, la plante ferme ses stomates pour éviter de se dessécher. Cette fermetur est provoquée par une modification de la turgescence des cellules de la feuille induite par la déshydratation.

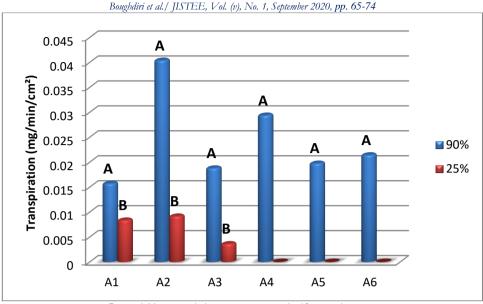


Figure 4: Variation de la transpiration après 60 jours de stress

#### La teneur en eau

L'analyse de la variance montre une réduction significative de la teneur en eau en fonction des traitements, des accessions et de stade de stress hydrique

En outre après 20 jours de stress, la teneur en eau est réduite par rapport au témoin 36%, 32%, 37%, 21%, 45% et 29% chez respectivement les accessions A1, A2, A3, A4, A5 et A6.

D'autre part, après 40 jours la diminution de la teneur en eau par rapport au témoin a atteint 36%, 41%, 38%, 39%, 41% et 32% respectivement chez les accessions A1, A2, A3, A4, A5 et A6.

Cette diminution est aussi remarquable après 60 jours de stress par rapport au témoin et a atteint 36%, 43% et 51% chez les accessions A1, A2 et A3 mais les accessions A4, A5 et A6 n'ont pas pu supporter le régime hydrique sévère 25% pendant ce stade et on a observé la mort des plantes qui ont subi ce régime.

Malgré cette diminution, les accessions ont pu garder un pourcentage de teneur relative en eau important.

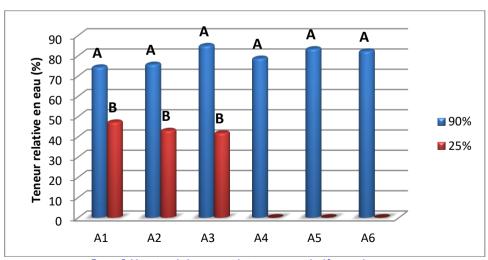


Figure 5: Variation de la teneur relative en eau après 60 jours de stress

Boughdiri et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 65-74

#### Teneur en chlorophylle

L'analyse de la variance montre une réduction significative de la teneur en chlorophylle en fonction des traitements et de stade de stress hydrique

En outre après 20 jours de stress la teneur en eau est réduite par rapport au témoin 28%, 42%, 32%, 34%, 31% et 47% chez respectivement les accessions A1, A2, A3, A4, A5 et A6.

D'autre part, après 40 jours la diminution de la teneur en eau par rapport au témoin a atteint 41%, 53%, 62%, 47%, 48% et 60% respectivement chez les accessions A1, A2, A3, A4, A5 et A6.

Cette diminution a continué après 60 jours de stress par rapport au témoin et a atteint 27%, 36% et 68% chez les accessions A1, A2 et A3 mais les accessions A4, A5 et A6 n'ont pas pu supporter le régime hydrique sévère 25% pendant ce stade et on a observé la mort des plantes qui ont subi ce régime.

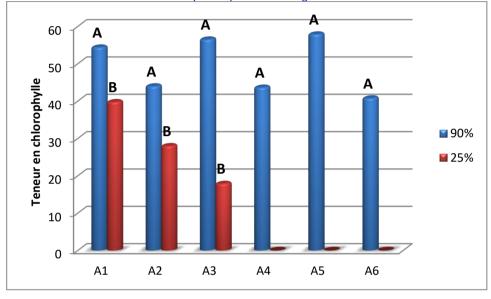


Figure 6: Variation de la teneur en chlorophylle après 60 jours de stress

#### Teneur en proline

L'analyse satisfique des résultats obtenus révèle l'existence d'une différence hautement significative (P<0.0001) des niveaux de stress (25, 50, 75 et 90%), des accessions et les stades (20, 40 et 60 jour).

Après 20 jours de stress la teneur en proline a augmenté par rapport au témoin de 67%, 68%, 69%, 78%, 69%, 82% chez respectivement les accessions A1, A2, A3, A4, A5 et A6

D'autre part, après 40 jours l'augmentation de la teneur en proline par rapport au témoin a atteint 88%, 74%, 86%, 81%, 73%, 89% respectivement chez les accessions A1, A2, A3, A4, A5 et A6.

Après 60 jours de stress il y a une augmentation par rapport au témoin qui a atteint 84%, 84% et 86% chez les accessions A1, A2 et A3 mais les accessions A4, A5 et A6 n'ont pas pu supporter le régime hydrique sévère 25% pendant ce stade et on a observé la mort des plantes qui ont subi ce régime.

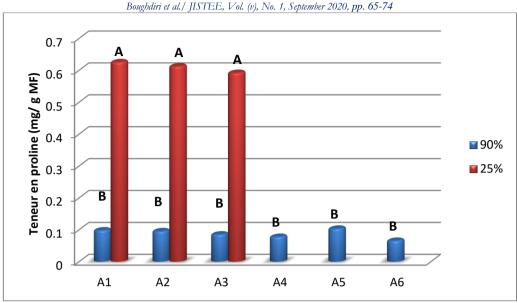


Figure 2: Variation de la teneur en proline après 60 jours de stress

#### Teneur en sucres totaux

L'analyse statistique des résultats obtenus montre une différence hautement significative (P<0.0001) des niveaux de stress hydrique et la durée de stress.

La teneur en sucres totaux augmente corrélativement avec l'intensité de stress chez toutes les accessions. Les fortes concentrations sont observées au niveau du traitement 25% RU. En effet, après 20 jours du stress

l'augmentation de la teneur en proline enregistre des valeurs par rapport au témoin de 36%, 86%, 56%, 55%, 55% et 40% respectivement chez A1, A2, A3, A4, A5 et A6. Par contre, après 40 jours de stress on a remarqué une augmentation de 82%, 88%, 76%, 71%, 83%, 83% par rapport au témoin respectivement chez A1, A2, A3, A4, A5. Au dernier stade l'augmentation atteint 83%, 89% et 78% seulement chez A1, A2 et A3 car A4, A5 et A6 n'ont pas pu

tolérer le régime sévère 25% RU.

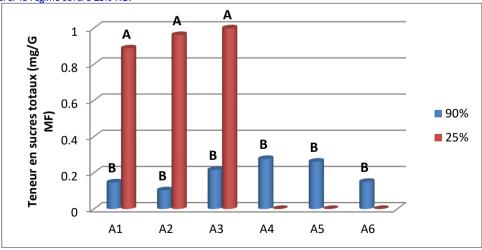


Figure 3: Variation de la teneur en sucres totaux après 60 jours de stress

Boughdiri et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 65-74

#### Teneur en sucres réducteurs

L'analyse statistique des résultats obtenus montre une différence hautement significative (P<0.0001) des niveaux de stress hydrique, des accessions et la durée de stress.

La comparaison entre l'évolution de la quantité de sucres réducteurs de toutes les accessions étudiées en fonction des stades de stress montre qu'il y a une augmentation des teneurs en sucres réducteurs au fur et à mesure que l'intensité du stress s'accentue.

En effet les teneurs en sucres les plus élevées sont observées au niveau du traitement 25% RU. En effet, après 20 jours du stress l'augmentation de la teneur en proline enregistre des valeurs par rapport au témoin de 44%, 35%, 26%, 44%, 38% et 39% respectivement chez AI, A2, A3, A4, A5 et A6.

Par contre, après 40 jours de stress on a une augmentation de 17%, 15%, 32%, 51%, 53% et 58% par rapport au témoin respectivement chez A1, A2, A3, A4, A5 et A6.

Au dernier stade l'augmentation atteint 25% pour AI et 40% pour A2 et A3. Le reste des accessions n'ont pas pu tolérer le régime sévère 25% Hcc.

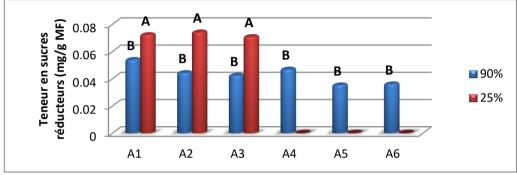


Figure 4: Variation de la teneur en sucres réducteurs après 60 jours de stress

#### Rendement en grains

Les résultats obtenus mettent en lumière l'effet de stress hydrique sur les plantes. En effet, toutes les plantes qui ont subi un déficit hydrique soit elles ont fleurit puis subit un avortement de leurs fleurs soit n'ont pas fait une floraison dès le début. De ce fait, on n'a obtenu que les gousses du traitement témoins. Une légère différence entre les accessions A1 et A3. Puis en second lieu les accessions A2 et A5. L'accession A4 n'a pas abouti à des gousses

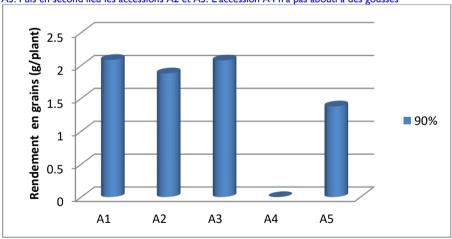


Figure 5: Variation du rendement en grains en fonction des accessions après 60 jours de stress

Boughdiri et al./ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 65-74

#### CONCLUSION

Les expériences effectuées au sein de laboratoire de production fourragère et sous abri à l'ESAM, nous permet de mettre en lumière l'impact de stress hydrique sur six accessions de lupin blanc, bleu et jaune d'origine locale.

Dans le régime hydrique le plus sévère (25% RU)et après 60 jours d'application de stress , trois accessions A1, A2 et A3 de lupin ont réagi en diminuant leurs surfaces foliaires respectivement de 61%, 82% et 75%, leurs teneurs en eau de 36%, 43% et 51% , leurs transpirations de 67%, 77% et 80% et leurs teneurs en chlorophylle de 27%, 36% et 68% par rapport au témoin en synthétisant des métabolismes de tolérance (proline, sucres réducteurs et sucres totaux). D'ores et déjà toutes les accessions ont réagi de la même façon en condition de stress hydrique mais avec des fréquences différentes. Ces mécanismes d'adaptation aux conditions de déficit hydrique, permettent aux accessions de survivre et de produire des gousses.

Ces résultats doivent attirer l'attention des chercheurs et des agriculteurs sur l'importance de cette espèce dans les systèmes des cultures et dans la substitution du soja, matière première couteuse sur les marchés internationaux.

A son terme, ce travail ouvre plusieurs perspectives de recherche :

- -Il est impératif de faire une étude plus poussée des caractéristiques nutritionnelles du Lupin et l'impact de son utilisation sur les performances animales.
- Il faut également poursuivre le travail de prospection et de collecte de cette espèce et l'étendre à d'autres zones écologiques
- -L'amélioration génétique du matériel biologique collecté doit être réalisée pour mettre des écotypes locales de lupin bien adaptés et productives à la disposition des agriculteurs.

#### Références Bibliographiques

- Abares. (2016). Agricultural commodity statistics 2016. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences.
- Gladstones, J. S., (1974). Lupins of the Mediterranean region and Africa. Western Australian Department of Agriculture, technical bulletin 26: 1–48
- Hsiao D, (2009). Sélection in vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thése de doctorat. Yniv. Catholique de Louvain.
- Keogh, R. C., & Robinson. (2010). Pollination aware: the real value of pollination in Australia. Victorian Collections.
- Louati M.E.H., Mellouli, H.J., and El Echi M.L.(2004). Tunisia. In Drought Preparedness and Mitigation in the Mediterranean: Analysis of the organizations and Institutions. Results of the research carried out within the MEDROPLAN project "Mediterranean Drought Preparedness ana Mitigation Planning". Contract N° ME8/AIDCO/2001/0515/59770-P027 of the European Commission. Options méditerranéennes, Serie B: Etudes et Recherches N° 51, CIHEMA. Iglesies A and Moneo M. (eds) pp. 155-190.
- Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S et Janardhan Reddy K. (2006). Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer: I-14 p.
- Raga S, Prudhome M. (2002). Yield potential debate: germplasm vs. methodology, or both. In M.P.Reynolds,
   S.Rajaram et A.McNab, eds. Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers. Workshop Proc.,
   Cd.Obregon, Mexico, 28-30 Mar. Mexico, DF, and CIMMYT.
- Rodriguez-Gamir J., Primo-Millo E., Forner J.B., FornerGiner M.A. (2010). Citrus rootstock responses to water stress. Scienta Horticulturae 126. Pp: 95-102.

Fayech Dorsaf, Tarhouni Jamila

Variabilité et tendances pluviométrique dans le sud est Tunisien

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

Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



# Variabilité et tendances pluviométrique dans le sud est tunisien

Fayech Dorsaf<sup>1</sup>, Tarhouni Jamila <sup>1</sup>

<sup>1</sup>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 présente étude a pour objectif l'homogénéisation des séries pluviométrique et l'étude de leur variabilité. Elle est basée sur l'exploitation des séries de 38ans (1975-2013) de 22 mesurées sur 22 stations métrologiques. L'homogénéisation est effectué en utilisant la méthode de vecteur régional. L'étude de la variabilité s'appui sur les indices de vecteurs régional ,la matrice graphique chronologique de traitement de l'information(MGCTI) « matrice de Bertin »,les tests statistiques de détection de rupture et l'indice pluviométrique standardisé. Le système d'information géographique (SIG) a été également utilisé pour créer une cartographie de la variabilité spatio-temporelle de pluviométrie. Les résultats montrent que la variabilité pluviomètrique se caractérise par une tendance à la baisse qui se manifeste par une succession des épisodes pluvieux et sèches avec une tendance à la sécheresse de plus en plus accentuée depuis 1997. L'application des tests de détection de rupture a prouvé que les séries pluviométriques sont stationnaires et ne présentent pas de rupture. L' étude montre la variabilité pluviométrique diminue du Nord vers le Sud et d'Ouest vers l'Est du bassin de Jeffara avec un gradient pluviométrique 57 mm/100 m de l'Est vers le Ouest du bassin.

Mots clés : tendance pluviométrique, MGCTI, méthode de vecteur régional, IPS, rupture, SIG, sud-est tunisien

### Rainfall variability and trends in south-eastern Tunisia

#### **Abstract**

This paper is intended to homogeneize the rainfall data and to study its variability over the period 1975-2013 from 22 meterological stations. To homogenize rainfall data the regional vector method is used. The study of rainfall variability is based on (1) regional index vector (2) chronological graphical method of information processing (CGMIP) of Bertin Matrix type (3) standardized index (PSI) values and finally on breakage detection tests (Pettit test, bayesienne method of Lee & Heghirian, Buishand test and Hurbert segmentation). Besides, the geographic information system (GIS) is implicated to create the cartography of rainfall data. Rainfall trend's is manifested by succession of wet and dry periods with acute drought. The use of the moving average of the PSI proved that a drought trend is noticed since 1997. The stability of the statistic tests of homogeneity proved the stationary of rainfall series. The cartography show that the annual rainfall variability decreases from North to South and from West to East of the basin with a rainfall index of 57 mm/100 m.

**Key Words**: trend's rainfall, Bertin matrix, regional vector method, SPI, statistical rupture, GIS, southeast of Tunisia

Page 75

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: fayech.dorsaf@yahoo.fr

Fayech, and Tarhouni/ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92

#### INTRODUCTION

En se basant sur les tendances et les changements observés pour ce qu'est des paramètres climatiques à l'échelle globale, le GIEC a confirmé dans son quatrième rapport que la planète passe par une phase de réchauffement global. En effet l'évaluation des changements climatiques constitue le principal outil de travail qui permet d'anticiper la vulnérabilité et l'ampleur du changement climatique (Bourque, 2000). La confirmation de ce réchauffement à l'échelle régionale se fera certainement attendre.

Les études menées à une échelle régionale vise, essentiellement, à détecter les éventuels changements climatiques gouverner par la pluviométrie qui constitue le facteur le plus important du climat et le facteur le plus difficile de prédire en raison de sa grande variabilité qui constitue une caractéristique centrale (Romero et al., 1998). Les études régionales effectuées ont été fondées sur des techniques et des outils statistiques. La détermination de coefficient de variation et de la déviation standard des séries pluviométriques annuelles et mensuelles sur différentes périodes montre que Bahrain est sujette à une importante variabilité pluviométrique (Elagib et Abdu, 1997). L'évaluation de la corrélation déterminée à partir de la méthode de régression linéaire entre les périodes d'accumulation de pluviométrie et le NDVI ont conclu à des fortes variations interannuelles de pluviométrie causées par l'homme dans les zones arides syriennes (Evans et Geerken, 2004).

Des outils statistiques descriptifs (Ecart type, coefficient de variation, coefficient d'asymétrie et le coefficient de kurtosis) déterminés pour des séries pluviométriques annuelles montre la variabilité pluviométrique à Botswana (Batisani et Yarnal, 2010). A l'Ouest de l'Algérie, l'application de la méthode de régression linéaire et le test de Pettit révèle une diminution de la pluviométrie annuelle depuis 1975 (Meddi et al., 2010) en contre partie l'application de différents tests statistiques de détection de rupture sur des séries pluviométriques annuelles, mensuelles et saisonnière montre l'absence d'une tendance pluviométrique (Meddi et Talia, 2006).

En Tunisie centrale en se faisant recourt aux tests statistiques de détection de rupture (test de Pettit, segmentation de Hurbert, méthode bayésienne de Lee et Heyhinian) Kingumbi (2006) a montré la stationnarité des séries pluviométriques traitées. A l'Afrique de l'Ouest (Cote d'Ivoire), l'étude de la variabilité pluviométrique a été effectuée en faisant recourt à l'indice pluviométrique, le filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2, test de corrélation sur le rang et la procédure de segmentation de Hurbert (Goual et al., 2006).

A cote de ces techniques, (Kouassi et al.,2013) ont effectué l'analyse en composantes principales Normées (ACP) pour évaluer la variabilité pluviométrique à Abidjan – Agboville. Pour étudier la variabilité pluviométrique sur le haut bassin du fleuve Sénégal de l'Afrique de l'Ouest, Bodian et al.(2011) ont choisi d'appliquer les tests de détection de rupture en vue de déceler une éventuelle rupture liée à la non stationnarité puis de représenter la répartition spatiale de pluviométrie en appliquant la méthode d'interpolation Idw. Signalons que la majorité de ces études traitent des données brutes non homogénéisées qui ne reflètent pas les variations réelles du climat (Beaulieu et al., 2005, Beaulieu et al.,2010). Les études traitant la variabilité de la pluviométrie sont absentes sur le sud tunisien malgré l'intérêt constant et retenu pour ces régions qui présentent des caractéristiques d'aridité agressive qui les rendent particulièrement très sensibles au phénomène de changement climatique. Cela pourrait être justifié par la difficulté à acquérir des séries homogènes avec peu de lacunes.

Toute étude climatique ou hydrologique est basée sur l'exploitation de séries de données pluviométrique recueillies pendant des périodes plus ou moins longues continues ou discontinues. Des erreurs grossières aléatoires (faites lors de l'observation ou à la recopie et à la saisie des données) ou systématiques (dues au déplacement du site d'observation ou des défauts d'appareillage) peuvent affectées les mesures de la pluviométrie (Brunet-Moret Y. 1968). Ce n'est que lorsque l'influence de ces erreurs est éliminée des données qu'il est possible d'exploiter ces données. On parle ainsi de l'homogénéisation des données pluviométriques. Dans plusieurs études climatologiques cette étape n'est pas prise en considération.

La méthode de vecteur régional d'indices annuels est la méthode est souvent utilisée pour l'homogéneisation de la pluviométrie. Cette méthode a été appliquée par Wotling et al. (1995) à la Mousson Africaine et par Hiez et al. (1992) dans le bassin Amazonien. En Tunisie, cette méthode a été utilisée dans les études d'homogénéisation et d'extension des données pluviométriques : au Nord ces études se sont inscrits dans le cadre d'un programme de recherche intitulé " Amélioration des méthodes d'évaluation des caractéristiques hydrologiques du nord de la Tunisie " mené conjointement par la Direction Générale des Ressources en Eau et l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en Coopération (O.R.S.T.O.M). Dans ce cadre on cite les études appliquées sur les secteurs de Bizerte (Camus et Abidi,1986), de Béja (Benzrti et al.,1987) de Sidi Thabit (Camus et Abidi,1988). Et en 1983 Lafforgue et al. ont élaboré une étude sur le centre de la Tunisie. Finalement, une seule étude, menée par Ayadi (1992), a été appliquée au sud sur la Djeffara Nord.

Dans ce contexte, le présent travail adopte la méthode de Vecteur Régional d'Indices annuels par application de modèle HYDRACCESS, mis au point par l'IRD, sur le basin de Jeffara de sud-est tunisien afin d'avoir des séries pluviométriques homogènes opérationnelles exemptes de variations tout en préservant leur variabilité climatique. Les données obtenues sont alors exploitées pour caractériser la variabilité pluviométrique dans ce milieu semi-aride à aride.

Fayech, and Tarhouni/ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92

#### **MATÉRIELS ET MÉTHODES**

#### Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située au sud tunisien. Elle s'étend sur le bassin versant de Jeffara, le plus grand bassin littoral au centre Nord de l'Afrique partagé entre la Tunisie et la Libye. La zone s'étend administrativement, sur trois gouvernorats : Gabés, Médenine et Tataouine (Figure I). Elle est caractérisée par une diversité de paysage naturel rassemblant la mer, le désert, l'oasis et la montagne à la fois. Le climat de la zone est de type méditerranéen aride à semi-aride caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle ne dépassant pas 225 mm/an et une évapotranspiration pouvant atteindre 1700 mm/an (Kallel. 2003).

La zone est soumise à la fois aux conditions désertiques et aux conditions méditerranéennes humides. Cette zone apparaît donc comme une zone de transition entre le domaine méditerranéen et le domaine saharien qui sont à l'origine des variations importantes des paramètres météorologiques. Ainsi c'est dans cette région de la Tunisie que la variabilité du climat prend toute son ampleur. En autumn et en printemps La zone est sujette à des vents chargés de poussière du sud à ouest en autumn et en printemps et au sirocco en été.

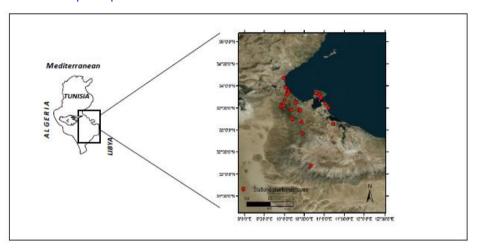


Figure I : Localisation de la zone d'étude et des stations météorologiques

#### **Données**

Les données pluviométriques utilisées ont été récoltées et publiées par la Direction Générale des Ressources en Eaux (DGRE) dans les annuaires pluviométriques. Afin d'estimer l'année à partir de la quelle nous disposons de données suffisantes, nous avons comparé la disponibilité des séries (annexe 1). La figure donnée par l'annexe 1 nous a permis de constater que peu de séries pluviométriques remontaient en deçà de l'année 1975, date qui a donc été retenue comme la date de début de notre période d'étude. La période retenue débute donc de 1975 et s'étend jusqu'a 2013. Dans un premier temps, seuls les stations comportant moins de 25% de lacunes sur la période 1975-2013 et situées dans ou à proximité de la zone d'étude ont été sélectionnées. Cette sélection nous a permis de retenir vingt deux stations (figure 1).

# Homogénéisation des données pluviométrique : Méthode de vecteur régional des indices pluviométriques

La méthode du vecteur régional est une méthode originale développée à l'IRD dans les années 1977 par les deux hydrologues Hiez et Brunet-Moret. Cette méthode permet de réaliser des études d'homogénéités des précipitations et de valider des régions ayant le meme comportement climatiques. La méthode de vecteur régional consiste à créer une suite chronologique d'indices annuels représentatifs de la pluviosité moyenne de l'année i sur une zone climatique homogène dans l'espace. L'indice zi d'une année i est calculé avec les observations aux n stations (n pouvant varier d'une année à l'autre) :

Fayech, and Tarhouni/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92 
$$z_i = \sum_{a=1}^{a=n} (\frac{P_{ai}}{\overline{P_a}})/n \quad [1]$$

Ou Pai est la hauteur de précipitation retenue pour l'année i à la station a de la zone climatique et Pa le module annuel de la station a. Le modèle hydraccess calcule année par année la composante zi du vecteur. La valeur du coefficient est déterminée de telle facon que la moyenne  $\bar{z}$  du vecteur z soit égale à 1, ce qui s'exprime par :

$$\frac{1}{N}\sum_{N}z_{i}=1 \quad [2]$$

On notera que les années à pluviométrie proche de la moyenne,  $z_i$  est proche de 1. Les années très pluvieuses sont des  $z_i$  forts tandis que les années sèches sont des  $z_i$  faibles.

Pour ce qui concerne la présente étude, nous avons procédé comme suit :

#### Délimitation de zones homogènes

Le principe de la délimitation est le regroupement des zones ayant des caractéristiques statistiques similaires. Pour ce faire, on a intérêt à retenir des regroupements de postes pluviométriques sur les superficies les plus réduites possibles, afin de diminuer la dispersion des pluies moyennes relatives à chaque année. Or ceci entraine la réduction du nombre de stations de longue durée d'observation et par suite l'amplitude de la période d'homogénéisation. Il est, par ailleurs, indispensable de disposer, a l'intérieur d'un secteur, d'un nombre suffisant de postes pour que on ait une bonne probabilité de mettre en évidence les anomalies. Hydraccess impose d'avoir un minimum de 3 postes en activité pour une année donnée. La résolution du problème de délimitation n'est donc pas du tout évident et finalement elle consiste à trouver un compromis, le moins mauvais possible, entre des objectifs assez contradictoires lorsque la densité du réseau d'observation est faible.

#### Correction des données et comblement des lacunes

Un premier passage des données "en l'état" sur le programme de traitement. Hydraccess pour chacun des secteurs définis, permet après établissement des graphiques de doubles cumuls entre postes et vecteur régional, la correction des erreurs accidentelles en éliminant des années ou des postes manifestement aberrants ou en multipliant les valeurs correspondantes par 1,27 ou son inverse 0,785 jusqu'à obtention de séries chronologiques vrai semblables. Le comblement des lacunes consiste à reconstituer les données annuelles non enregistrées soit par absence d'observation, soit parce qu'elles ont été éliminées après contrôle de chaque poste retenu après homogénéisation.

$$P_{xi} = \overline{P_x} \cdot z_i$$
 [3]

Avec:

Pxi: lacune à la station x durant l'année i

zi : indice de vecteur

 $\overline{P_x}$  : valeur moyenne interannuelle  $\overline{P_x}$  calculée selon le vecteur Z du secteur

#### Matrice de Bertin

Afin d'étudier la tendance de la pluviométrie on a fait recourt à la méthode graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI) de type Matrice Bertin (Nouaceur et al., 2013). Cette méthode permet d'analyser dans un premier temps la répartition spatiotemporelle du paramètre météorologique, puis de déterminer dans un deuxième temps les dates de changements de cycle, s'il y a des cyclicités manifestes, grâce à l'analyse régionale.

Première étape : un classement par année par rapport aux valeurs limites (Q1, Q2, Médiane, Q3 et Q4) est effectué pour toutes les stations et sur toute la série. Les années dont les totaux pluviométriques sont inférieurs à la valeur limite du premier quintile (Q1) sont considérées très déficitaires (très sèches). Celles qui se placent entre le premier et le deuxième quintiles (Q2) sont considérées comme déficitaires (sèches). Les années dont la hauteur pluviométrique ou la température est comprise entre le deuxième quintile et la médiane, sont normales avec une tendance sèche. Entre l'intervalle médian et le troisième quintile (Q3), les années sont normales avec une tendance humide. Entre le troisième et le quatrième quintile (Q4) se trouvent les années humides. Enfin, toutes les années dont les totaux pluviométriques et les températures sont supérieurs au quatrième quintile sont considérées comme très excédentaires (très humides).

Deuxième étape : un recodage des valeurs grâce à une gamme de couleurs est effectué (la couleur variant suivant la position du cumul pluviométrique annuel par rapport aux valeurs limites). Ce premier traitement est suivi d'une procédure de réordonnancement (permutations de colonnes) afin d'obtenir un classement qui permette de visualiser une structure colorée homogène (Matrice Bertin). Cette procédure permet de visualiser l'évolution du paramètre climatique selon deux dimensions (temps et espace).

Fayech, and Tarhouni/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92

#### Indice pluviométrique standardisé (IPS)

La pluviométrie régionale est déterminée afin de calculer l'IPS.

#### Détermination de la pluviométrie régionale : Méthode de theissen

On dispose de trois méthodes classiques pour la détermination de la pluviométrie annuelle moyenne de bassin à partir de l'ensemble des mesures ponctuelles obtenues à plusieurs stations pluviométriques sur le bassin ou à proximité, on distingue la méthode de la moyenne arithmétique, la méthode des polygones de Thiessen ou l'utilisation d'isohyètes. Le choix de la méthode dépendra notamment de la longueur de la série de données dont on dispose, la densité du réseau de mesure, et la variation du champ pluviométrique.

La méthode de polygones de Theissen est la méthode choisie pour la détermination de la pluviométrie annuelle moyenne de bassin d'étude. Le choix de cette méthode est du au fait que cette méthode convient aux superficies (ou bassins) ayant un réseau pluviométrique spatialement hétérogène (pluviomètres distribués irrégulièrement) tel que le cas de notre bassin d'étude. La méthode de polygone de Theissen convient aussi aux superficies (ou bassins) ayant un réseau pluviométrique spatialement hétérogène (pluviomètres distribués irrégulièrement) tel que le cas de notre bassin d'étude.

Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire, exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur locale.

#### Indice pluviométrique standarisé

Les pluies annuelles moyennes obtenues ont étés utilisées pour calculer l'indice pluviométrique annuel du bassin Jeffara, défini par Lamb (1982) comme une variable centrée réduite :

$$IPS_a = \frac{P_a - P_m}{\sigma_p} [4]$$

où *IPSa* est l'indice de pluie standardisé de l'année *a*, *Pa* : la pluviométrie de l'année *a*, *Pm* : la pluviométrie annuelle moyenne sur la période de référence 1975-2013 et *σ*p l'écart-type de la pluviométrie sur la même période de référence.

Cet indice traduit un excédent ou un déficit pluviométrique pour l'année considérée par rapport à la période de référence. Il met également en évidence l'intensité du déficit ou de l'excès pluviométrique (NIANG, 2008). Une valeur de z inférieure à 0 est le fait d'une année déficitaire et une valeur supérieure à 0, celui d'une année excédentaire, par rapport à la moyenne calculée sur la période d'homogénéisation.

### Tests statistiques de détections de rupture

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. Nous avons donc appliqué plusieurs tests statistiques de détection des ruptures : test d'ellipse de bois, test de Pettit, test de Lee et Heighn et le test de Hurbert sur les séries annuelles comblées de précipitations.

#### Ellipse de Bois

Un autre test est basé sur la somme des écarts cumulés Sk. La série Sk/ $\sigma$  suit une loi normale de moyenne nulle et de variance  $k(N-k)\sigma^2/N$  (sous l'hypothèse de stationnarité). Il est donc possible de tracer les intervalles de confiances de ces écarts cumulés, qui prennent la forme d'un ellipsoïde (Bois, 1971, 1986). Cette méthode a été à l'origine conçue pour tester les anomalies ponctuelles ou de ruptures ou de tendance dans une série chronologique d'une variable normale Y corrélée avec une autre X (exemple : pluies annuelles) :  $y_i = a \ x_i + b + \epsilon_i \ et r$  le coefficient de corrélation linéaire Elle est basée sur l'étude du cumul des résidus :

$$Z_i = \sum_{i=1}^N \epsilon_i$$
 [5]

On montre que pour un échantillon de N valeurs successives des résidus, le ième cumul des résidus Zi a une espérance mathématique nulle et une variance qui varie avec i et dont une valeur approchée est donnée par :  $Var(Zi) = Var(Y)*(I-r^2)*i*(N-i)*(N-1)/N^2$ 

Le tracé de k fois cet écart type en fonction de i dessine ainsi une ellipse. On peut ainsi tracer pour chaque valeur de i un intervalle de confiance de Zi qui recouvre la valeur expérimentale avec un degré de confiance (p%). Mais sur l'ensemble du tracé, il y a une probabilité inférieure à p qu'au moins un point sorte de l'ellipse. Ce calcul a été fait par simulation stochastique et dépend de la taille de l'échantillon.

Fayech, and Tarhouni/ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92

#### Pettitt's test

Il s'agit d'un test non paramétrique développé par Pettit (1979). Ce test a été utilisé par plusieurs auteurs pour détecter un changement dans séries chronologiques des paramètres climatiques (Gao et al. 2011, Jaiswal and al.,2015, Kocsis and al.,2019). Le test de Pettitt se base sur la detection d'un changement significatif a une date donnée. L'absence de rupture constitue l'hypothèse nulle. Ce test stipule

Pour I≤t<N

$$PE = \widehat{max}(|U_{t,N}|)$$
 [6]

avec

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{i=t+1}^{N} signe(x_i - x_i)$$
 [7]

et

signe(x) = 
$$\begin{cases} +1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$
 [8]

Si l'hypothèse nulle est rejetée alors le point de rupture est définie par :

$$K = Max|U_t|$$
 [9]

Ce test est sensible aux ruptures situées au milieu des series chronologiques (Wijngaard et al., 2003).

#### Buishand range test (1982,1984)

Il s'agit d'un test parametric qui suppose que la variable est indépendante et normale (Wijngaard et al., 2003). Ce test se base sur l'utilisation de la somme partielle ajustée définie par:

pour k=I to N

$$s_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})$$
 [9]

Si Sk = 0 alors la série étudiée est homogène sans point de rupture. Sinon il a une rupture à l'année K et le test statistique est définie par

$$R = Range = \frac{Max(S_k) - Min(S_k)}{\bar{v}}$$
 [10]

Avec: Max (Sk): negative shift

Min (Sk): positif shift

La valeur Range/ $\sqrt{n}$  est calculé pour etre compare par la suite à la valeur critique donnée par le test statistique de Buishand(1982) et Winingaard et al. (2003) aux différents intervalles de signification pour détecter le point de changement. Le Buishand range est aussi sensible aux rupture situées au milieu des séries chronologiques (Wijngaard et al., 2003).

#### Test de Lee et Heighn

Il s'agit d'une approche paramétrique qui requiert une distribution normale de la variable étudiée. Le modèle de base de

la procédure est le suivant :

## Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN (electronic): 1737-9350, ISSN (printed): 1737-6688 ; Volume (V) - Numéro I - Septembre 2020

Fayech, and Tarhouni/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92
$$X_i = \begin{cases} \mu + \epsilon_i & i = 1 ..., \tau \\ \mu + \delta + \epsilon_i & i = \tau + 1, ..., N \end{cases}$$

Ou  $\epsilon_i$  sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2 * \tau$  et  $\delta$  representent respectivement la position de la rupture dans le temps et l'amplitude du changement sur la moyenne. L'approche bayesienne est basée sur les distributions marginales a posteriori de  $\tau$  et  $\delta$ 

La nouvelle distribution dite « a posteriori » se calcule par les formules :

distribution a posteriori de  $\tau$ 

$$\begin{split} P(\tau \setminus x) \propto & \frac{\sqrt{^n/\tau_{(n-\tau)}}}{\sqrt{R(\tau)^{n-2}}} \text{ [II]} \\ \text{et } \bar{x_\tau} &= \frac{1}{\tau} \sum_{\tau=1}^n x_i \, \text{et } \bar{x}_{n-\tau} = \frac{1}{n-\tau} \sum_{i=\tau+1}^n x_i \, \text{ [I2]} \end{split}$$

distribution a posteriori de  $\delta$ 

$$P(\delta \mid x) = \frac{1}{\tau} \sum_{\tau=1}^{n} P(\delta \mid \tau) (P \mid x)$$
 [13]

 $P(\delta \mid x)$  probabilité conditionnelle d'observer  $\delta$  sachant  $\tau$ 

 $P(\delta \ / \delta)$  suit une loi de Student à (n-2) degrés de libertés, de moyenne  $\overline{x_{ au}} - \overline{x_{n- au}}$ 

Et de variance 
$$Var=\frac{nR(\tau)\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x_n})^2}{(n-2)\tau(n-\tau)}$$
 [14]

#### Segmentation de Hubert

Hubert a développé une procédure de segmentation de série temporelle adaptée à la recherche d'une ou plusieurs ruptures (Hubert et Carbonnel, 1987, Hubert et al., 1989, Hubert, 1997). Celle-ci décompose la série initiale en un certain nombre de sous-séries selon une technique des moindres carrés. Le test de Scheffe permet ensuite de s'assurer que la différence entre les moyennes de deux sous-séries consécutives n'est pas négligeable.

Le résultat obtenu doit être tel que les moyennes successives de deux segments consécutifs sont significativement différents. Cela peut être réalisé en utilisant le test de Scheffe (1959). Si une solution s'accorde mieux à la série que la meilleure des solutions déjà explorées par l'algorithme, celle-ci sera retenue seulement si l'hypothèse nulle du test de Scheffe, pour cette nouvelle solution, est rejetée pour un niveau de confiance préalablement défini. La procédure de segmentation de Hubert peut être utilisée comme un test de stationnarité. Dans ce cas, l'hypothèse nulle du test est la stationnarité de la série. Cette hypothèse est acceptée si la procédure ne parvient pas à segmenter la série à tester et elle est rejetée dans le cas contraire.

Le logiciel KRONOSTAT (Boyer, 2002) développé à l'IRD-HSM de Montpellier a été particulièrement utile dans la mise en œuvre des procédures statistiques mentionnées ci-dessus. Il permet notamment de visualiser et de stocker les résultats sous format numérique mais aussi graphique. En particulier, la visualisation des ellipses de contrôle associées au test de Buishand s'est avérée indispensable au repérage des dates de rupture.

#### **RÉSULTATS ET DISCUSSION**

#### Homogénéisation des données pluviométriques

Après plusieurs essais nous avons retenu deux secteurs d'homogénéisation et afin de diminuer, d'avantage, la dispersion des pluies chacun de ces deux secteurs ont été divisé en deux sous secteurs. Pour confirmer l'homogénéité de la variabilité pluviométrique de la région nous nous somme appuyé sur le coefficient de corrélation par rapport au vecteur pour chaque station calculé par le logiciel Hydraccess. Les résultats de délimitation sont données par le tableau I et la figure 2 en indiquant les secteurs et les sous secteurs, le nombre de stations réellement utilisées par le programme de calcul après élimination des postes trop anciens, de durée trop courte ou présentant des données aberrantes, les périodes sur lesquelles a porté l'homogénéisation et les coefficients de corrélation entre les stations et les vecteurs.

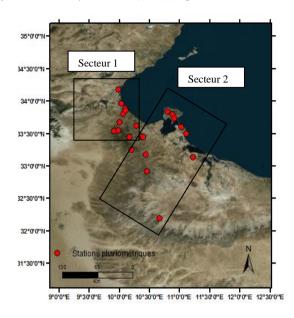


Figure 2: Localisation de secteurs homogènes selon la méthode des vecteurs régionaux

Tableau I: Régionalisation des précipitations par la méthode du vecteur régional

Secteur	Sous secteur	Nombre de stations	ériode d'homogénéisation	Corrélation/vecteur
Jeffara Nord	Jeffara Nord littorale (1) 5 1975-2013		0,88 à 0,94	
(Gabés)	Jeffara Nord continentale (2)	5		0,95 à 0,97
Jeffara Sud (Médnine Tataouine)	Jeffara Sud littorale (3)	6	1976-2013	0,9 à 0,96
ramodilic)	Jeffara Sud continentale (4)	6		0,89 à 0,94

Le secteur de Jeffara Nord recouvrant 10 stations appartenant administrativement au gouvernorat de Gabés est divisé à son tour en deux sous secteur :

- sous secteur littoral de Jeffara Nord renfermant 5 stations : Henchir El Hicha, Gabés SM, El Mdou, Gabés DRES et Métouia SM.
- sous secteur continentale de Jeffara Nord renfermant 5 stations : Matmata délégation, Toujane Eddekhila, El Hamma PV et Zarkine par Marth et Marth.
  - Le second Jeffara Sud renfermant 11 stations appartenant administrativement aux gouvernorats de Médenine et de Tataouine. Ce secteur est réparti en deux sous secteurs :
- sous secteur littoral de Jeffara Sud incluant 6 stations : Zarsis ville PAVA, Jerba Cedriane, Jerba El May SM, Ste Sidi Chommakh Eco, Jerba Cedouikich et Ben Guerden I SM.
- sous secteur continental de Jeffara littoral comportant 5 stations : Allamet, Beni Khedech délégation, Tataouine SM, Koutine et Bir Lahmar école
  - Les valeurs des coefficients de corrélation entre les stations et le vecteur correspondant sont proche de 1 (de l'ordre de 0,9) ce qui prouve l'homogénéité des secteurs délimités.

Des passages successifs sur le même programme avec les données corrigées et progressivement améliorées permettent d'avoir des nouveaux traces de doubles cumuls et donc corrections des erreurs les moins apparentes jusqu'à obtention de séries chronologiques vraisemblables ayant des coefficients de corrélation entre indice et vecteur compris entre 0,8 et 1,24 correspondants à des faibles écarts. Nous estimons qu'en dehors des corrections d'appareillage (multiplication par 1,27 ou 0,785) et de quelques cas particuliers reconnus (changement d'emplacement ou modification sévère de l'environnement), il est déconseillé d'utiliser des valeurs ayant subi des corrections de l'ordre de 20 % ou plus sans que l'origine exacte de l'erreur ait pu être précisée (Brunet - Moret, 1979). Cependant, nous avons parfois été conduits à effectuer des corrections systématiques assez importantes sur certaines hauteurs de pluie annuelle pour conserver le maximum des données sur des zones peu riches en stations alors qu'on aurait dû en principe les éliminer purement et simplement. Nous avons cependant conservé ces valeurs corrigées. Quelques stations proches ont été combinées pour obtenir un historique plus long. Les principaux critères utilisés dans cette fusion est la proximité (les stations doivent se retrouver à une distance inférieure ou égale à 2 km) et une faible différence d'altitude. C'est ainsi les stations de Zarsis ville et Zarsis SE2 situées à une distance de 300 m et à une même altitude de 11 m.

La figure 3 présente les résultats d'application de la méthode de double cumul entre les indices annuels de la station et ceux du vecteur régional sur les stations Gabés SM (sous secteur I), El Hamma et Toujane école (sous secteur 2), Djerbba El May SM (sous secteur 3) et Béni Khdeche délégation (sous secteur 4).

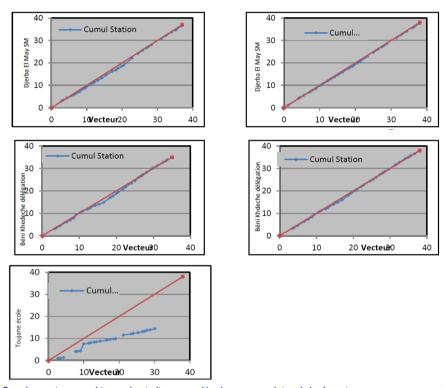


Figure 3: Représentations graphiques des indices cumulés du vecteur régional de 4 stations appartenant aux différents secteurs avant (à gauche) et après (à droite) l'homogénéisation

Ces résultats montrent que les données sont d'une qualité moyenne. Grapiquement, ceci se traduit par des cassures, des segments qui s'éloignent de la première bissectrice et l'absence de points aberrants et par des années lacunaires peu importantes. En effet les périodes lacunaires sont de 2 ans à la station de Marth, I an aux stations de Gabés SM et de Zarsis ville PAVA. La satation de Béni Khedeche délégation a une série complete qui ne présente pas des lacunes. Cependant, la qualité de données de la station Toujane école est médiocre. En effet, les segments divergent et s'écartent totalement de la première bissectrice et la période lacunaire est très importante (12 ans). D'ou la nécessitée d'écarter cette station de notre étude vue que les corrections ont porté seulement sur des stations qui, à priori, pouvaient être considérées comme homogènes. Quant aux graphiques de double cumul après homogénéisation (situés à gauche), on constate le bon alignement des points qui ne présentent plus de cassure. Ainsi les données peuvent être considérées homognènes. Pour le comblement des lacunes, ce calcul ne s'applique qu'à la période correspondant à celle du vecteur,

soit 38 années pour le secteur de Jeffara Nord et 37 ans pour le secteur de Jeffara Sud. Notons qu'on n'a pas pu effectuer l'extension des données annuelle sur l'an 1992 pour les stations du secteur 2 vue l'absence des relevés pluviométriques journalières et mensuelle correspondantes à ces stations pour l'année 1992.

#### Variabilité pluviométrique

#### Indice de vecteur régional

En se basant sur l'indice de vecteur régional déjà déterminé, une tendance pluviométrique pour être déterminée pour chaque région homogène.

On rappelle que le vecteur z<sub>i</sub> peu donnée une idée sur la tendance pluviométrique de pour chaque région considérée homogène. Cette méthode n'a jamais été utilisée pour l'étude de la tendance climatique.

La variation temporelle de z<sub>i</sub> dans les différents secteurs de la zone d'étude est donnée par la figure 4 La variation de pourcentage des stations pluviométriques déficitaires en fonction de z<sub>i</sub> moyenne est donnée par la figure 4.

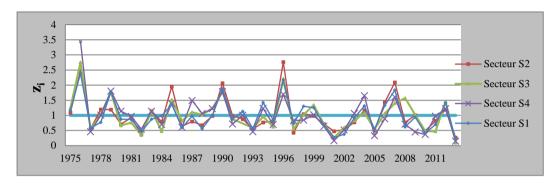


Figure 4: Variation temporelle des indices annuels du vecteur régional dans les différents secteurs de la zone d'étude

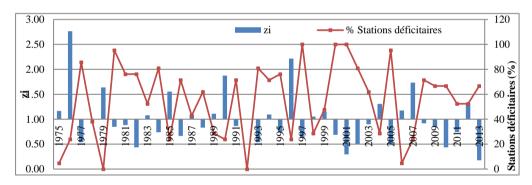


Figure 5: Variation des indices pluviométriques annuels moyens et de la proportion (%) de stations pluviométriques

D'après ces deux figures 4 et figure 5 on constate que touts les secteurs ont une même tendance de variabilité pluviométrique marquée par des nettes fluctuations interannuelles. Ces fluctuations s'atténuent depuis 1997/1998 d'où un taux de stations pluviométrique déficitaire d'environ 50% avant 1997/1998 et 59% après cette date (figure 2.2). Notons que l'indice pluviométrique annuel moyen atteint un maximum de 2,76 en 1976/1977 et un minimum de 0,18 en 2013/2014 on peut donc conclure que l'année 1976/1977 est la plus excédentaire avec un taux de stations pluviométriques déficitaire ne dépassant pas 5% des stations et que l'année 2013/2014 est la plus déficitaire sur la période d'étude avec à environ 67% des stations sont déficitaires .

On remarque aussi que depuis 1997 l'amplitude des fluctuations varie : en effet l'indice pluviométrique de vecteur régional annuel moyen des années déficitaires est de 0,75 pendant la période 75/76 à 1997/1998 avec un taux moyen des stations pluviométrique d'environ 50% et il est de 0,6 pendant la période 1997/1998 jusqu'à 2013/2014 avec un taux moyen des stations déficitaire de l'ordre 59%

## Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN (electronic): 1737-9350, ISSN (printed): 1737-6688 ; Volume (V) - Numéro I - Septembre 2020

Fayech, and Tarhouni/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92

Quant aux indices pluviométrique de vecteur régional correspondants à des années excédentaires on enregistre une baisse de ces dernier d'où une moyenne de 1,47 pendant la période 1975/1976 à 1997/1998 et il est de 1,29 pendant la période 1997/1998 jusqu'à 2013/2014.

Plus que 50 % (52,6) d'année se caractérisent par un indice moyen annuel inférieur à 1 d'autre part 25 années de la période d'étude (38 années) le pourcentage de stations pluviométriques déficitaires dépasse 50% on peut donc conclure que le régime pluviométrique est déficitaire.

#### Matrice de Bertin

La matrice de Bertin obtenue es presentée par la figure6.

La chronologie de l'indice pluviométrique se distingue par deux années à forte pluie annuelles: les années 1974-1975 et 1976-1977 avec un indice proche de 2,5 et deux années très sèches 1991/1992 à un indice pluviométrique de -1,7 (sécheresse sévère) et 2012-2013 à indice pluviométrique inférieur à -2 (sécheresse extrêmement sévère). Elle a permis de dégagées :

- Une première période de 1975-1979 apparaît sur la matrice colorée comme une période humide avec un indice pluviométrique standarisé qui dépasse le +2 avec une seule année à IPS négatif (1977).
- Une période de 1980-1984 matérialisée sur la matrice par la dominance des années seche et très sèches à valeur de SPI négatifs allant de -0,48 à -0,88 avec une année humide (1983) à faible SPI (0,22)
- Une période de 1985 à 1991 une période peu humide à SPI positifs variant de 0,12 à 1,27.
- A partir de 1991 une longue période de sécheresse s'est installée sur le territoire d'étude jusqu'à 2005 caractérisée par la dominance des années seche et très seche sur la matrice et par des SPI négatifs qui atteint -1,73 en 1992.
- Une courte période humide de 2006 à 2009 à faible SPI qui ne dépasse pas 0,67. Finalement une autre période plus sèche de 2010 à 2013 à un SPI négatif qui dépasse -2 en 2013. Pendant cette période on enregistre une année humide (2012) à faible IPS (0,22).

Donc il s'agit d'une alternance des périodes sèches et des périodes humides avec une prépondérance des fronts déficitaire sur les fronts pluvieux au cours des deux dernières décennies, toute fois on note la diminution de l'intensité des lp aux cours des années humides et augmente au cours des années sèches. La sécheresse s'accentue alors dans la zone d'étude. Ces resultats confirment les resultats degagés par Ouassar (2006) qui montrent que de 1996-1997 jusqu'à 2001-2002 (date de la fin d'étude) une tendense à la sechresse en se basant sur le calcul de l'écart moyen par rapport à la moyenne des séries pluviométriques annuelle de la station de Médenine.

#### Indice pluviométruge standarisé

La variation annuelle de l'indice pluviométrique sur le bassin de Jeffara a permis de dégagées deux périodes distingue (figure 6) :

La première période de 1975 à 1991, est caractérisée par un régime pluviométrique à tendance humide au cours de la quelle on enregistre 10 ans humide ayant un indice pluviométrique positif (de 0,' à 2,4) et 5 ans légèrement secs d'indice pluviométrique supérieure à -1(-0,8 à -0,5). La deuxième période, de 1991 à 2013, correspond à un épisode à tendance sèche avec 16 ans secs (-0,06 à -1,7) (plus que 2/3 de la période).

Les chronologies étudiées se distinguent par deux années à forte pluie annuelles : les années 1974-1975 et 1976-1977 avec un indice proche de 2,5 et deux années très sèches 1991/1992 à un indice pluviométrique de -1,7 (sécheresse sévère) et 2012 :2013 à indice pluviométrique inférieur à -2 (sécheresse extrêmement sévère). Quand à l'intensité des lp On note sa diminution aux cours des années humides et son augmentation au cours des années sèches.

L'analyse de la moyenne mobile sur 10 ans permet de distingué deux périodes :

Avant 1997/1998 : cette période corresponde à un lp positif mais très faible ne dépassant pas 0,5

Après 1997/1998 : corresponde à une diminution de lp qui change de signe pour attendre des valeurs négatives.

On peut affirmer donc la diminution de l'Ip sur le bassin de Jeffara et donc du climat qui de vient de plus en plus sec.

Finalement on peut conclure à une variation de climat et non à une variabilité interannuelle puisque ce qui se produit ces dernières années n'a pas eu lieu par le passé dit moins au cours de la période d'étude.

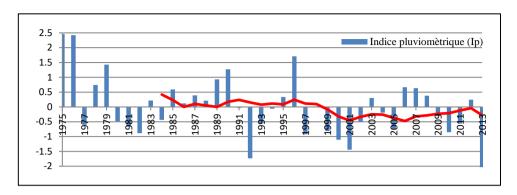


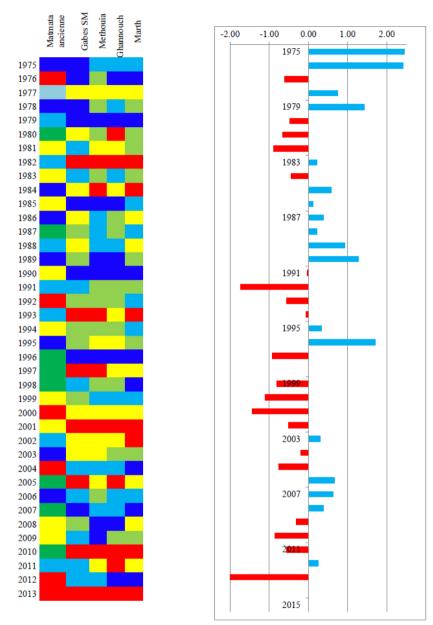
Figure 6: Variation des indices pluviométriques standard (SPI) sur le bassin versant de Jeffara (1975-2013)

#### Tests de détection de rupture

Les résultats d'application des tests statistiques de détection de rupture par secteur et par station durant la période d'étude sont récapitulés dans le tableau 2.

Une rupture probable signifie que la rupture est détectée par au moins 2 tests statistiques. Une rupture avérée signifie que la rupture est détectée par les trois tests, ce qui indique donc une probabilité importante de rupture ou un événement de grande amplitude.

Le tableau 2 révèle que les stations de secteur 4 ainsi que la station de Ben Guerdene de S3 présentent un défaut d'homogénéité situées aux années 1976 et 2013. En effet ces ruptures correspondent soit à une augmentation soit à une diminution de la pluviométrie annuelle ce qui confirme les résultats relatives à l'indice de vecteur régional déjà cités et qui stipule que ces deux années ont été mentionnées comme très sèche et très humide durant la période d'étude. Donc ces dates ne peuvent pas être considérées comme des dates de rupture.



**Figure 7.** MGCTI, classification des précipitations annuelles selon les quintiles Q1, Q2, Q3, Q4 et Q5 (période de mesure de 1978 à 2015)

## Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN (electronic): 1737-9350, ISSN (printed): 1737-6688 ; Volume (V) - Numéro I - Septembre 2020

Fayech, and Tarhouni/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92

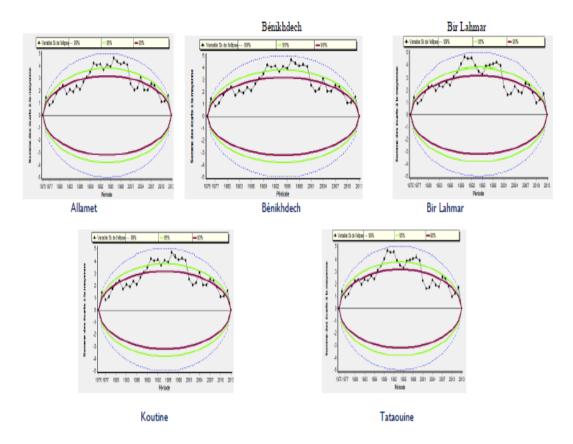
Le model Khronostat a pemis de visualiser les ellipses de contrôle associées au test de Buishand (figure 8). Cette visualisation s'est avérée indispensable au repérage des dates de rupture.

Finalement, on peut conclure que les chroniques sont stationnaire et qu'elles n'ont pas subi de rupture.

Ces résultats ne contredit pas la baisse pluviométrique qui a été démontrée dans les parties précédentes. Une rupture est définie comme un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un instant donné et son absence ne signifie pas que la pluviométrie n'a pas diminué mais que cette diminution est peu significative. Ces résultats sont en concordance avec ceux trouvé par Kingumbi (2006) en tunisien centrale (1976-1989).

Tableau 2 : Résultats des tests statistiques appliqués aux chroniques pluviométriques annuelles

	Buishand	Pettit	Lee et Heghiane	Hurbert	
	SI				
El Mdou	(-)	(-)	2012	(-)	
El Hicha	(-)	(-)	2012	(-)	
Gabés DRE	(-)	(-)	2012	(-)	
Gabés SM	(-)	**	**	1996	
Métouia	(-)	(-)	2012	(-)	
		•	<b>S</b> 2		
Hamma	(-)	(-)	2012	(-)	
Marth	(-)	(-)	1976	(-)	
Matmata	(-)	(-)	2012	(-)	
Toujane	(-)	(-)	1976	(-)	
Zarkine	(-)	1999	2012	(-)	
			<b>S3</b>		
Ben Guerden	(-)	(-)	1976	1976	
Jerba Cedouikich	(-)	(-)	1976	(-)	
Jerba Cedriane	(-)	(-)	2012	1976	
Jerba May	(-)	(-)	2012	1976	
Sidi Chommakh	(-)	(-)	2012	1976	
Zarsis PAVA	(-)	(-)	2012	(-)	
	<b>S4</b>				
Allamet	1976	(-)	1976	1976	
	2013	(-)	2012	1976	
Beni Khedeche					
Bir Lahmar	1976+2013	(-)	2012	1976	
Koutine	1976+2013	(-)	2012	1976	
Tataouine	2013	(-)	2012	1976	



**Figure 8 :** Démonstration de la présence de rupture aux stations Allamet, Bénikhdech, Bir Lahmar, Koutine et Tataouins par l'Ellipse du Bois

#### CONCLUSION

La zone méditerranéenne est une zone très vulnérable « hotspot » (Giorgi, 2006) au changement climatique. D'où la necessité d'étudier la variabilité à une échelle régionale dans cette zone (Word Bank, 2014) afin d'en faire face.

C'est dans ce cadre que la présente étude a été menée. Elle vise l'étude de la variabilité pluviométrique dans le sud est tunisien à climat semi aride à aride ou les ressources en eau sont limitées, peu renouvelables et excessivement exploitées. L'étude a exploité des données pluviométrique issue de 22 stations météorologiques durant la période 1976-2013.

Comme toute étude climatologique ou hydrologique, il faut disposer des séries de données climatiques homogènes pour que les résultats soient statistiquement signifiants. C'est ainsi qu'on a commencé tout d'abord par l' homogénéisation des données de la pluviométrie en utilisant la méthode de vecteur régionale qui a permis d'homogénéiser les sèries chronologiques mais aussi de compléter les données manquantes. Cette méthode a permis l'obtention d'une base de données de pluviométrie opérationnelle.

Pour étudier la variabilité pluviométrique, plusieurs méthodes ont été appliquées : Matrice de Bertin, indices de vecteur régional, des tests statistiques de détection de rupture et l'indice pluviométrique standardisé déterminé à partir de la pluviométrie régionale. Cette dernière a été déterminée par la méthode de polygone de Theissen.

## Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN (electronic): 1737-9350, ISSN (printed): 1737-6688 ; Volume (V) - Numéro I - Septembre 2020

Fayech, and Tarhouni/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92

Les résultats ont montré que la tendance pluviométrique se manifeste par une baisse et que le comportement pluviométrique a change entre 1997 et 1998. Deux périodes sont alors distinguées :

Avant 1998 : cette période corresponde à un IPS positif mais très faible ne dépassant pas 0,5

Après 1998 : corresponde à une diminution de IPS qui change de signe pour attendre des valeurs négatives. On peut affirmer donc la diminution de l'IPS et donc du climat qui de vient de plus en plus sec.

En appliquant les tests statistiques de détection de rupture (test d'ellipse de bois, test de Pettit, test de Lee et Heighn et le test de Hurbert on a déduit que les séries annuelles comblées de précipitations ne présentent pas des ruptures. Ces résultats ne contredit pas ce qui a été démontré quant à la tendance à la baisse de la pluviométrie vue qu'une rupture ne peut etre observée que si la loi statistique change et donc une variation très significative.

Dans un contexte de changement climatique il est nécessaire de mettre les stratégies adéquates pour faire face à la variabilité climatique en particulier dans les zones à climat aride à semi-aride. En effet la baisse de la pluviométrie peut limiter la croissance économique en affectant l'un des secteurs dynamiques très dépendant de la disponibilité en eau qu'est l'agriculture.

#### Références

Ahoussi K. E., Koffi Y. B., Kouassi A.M.,Soro G., Soro N., Biémi J. (2013). Étude de la variabilité hydroclimatique et de ses conséquences sur les ressources en eau du Sud forestier et agricole de la Côte d'Ivoire : cas de la région d'Abidjan-Agboville. International Journal of Pure & Applied Bioscience I (6): 30-50

Batisani a N., Yarnal B.(2010). Rainfall variability and trends in semi-arid Botswana: Implications for climate change adaptation policy. Applied Geography 30 (2010) 483–489

Beaulieu C., Ouarda T.B.M.J.et Seidou O.(2007). Synthèse des techniques d'homogénéisation des séries climatiques et analyse d'applicabilité aux séries de précipitations. Hydrological Sciences–Journal, 52(1) février 2007

Benzarti Z.,(2003). La pluviométrie en Tunisie. Analyse des années très pluvieuses. eau et environnement tunisie et milieux méditerranéens pp63-77. 10.4000/books.enseditions.847

Bodian A., Dacosta H. et Dezetter A.(2011). Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique.Revue Physio-Géo.VOL.5,PP.107-124.

Bois P. (1971). Une méthode de contrôle des séries chronologiques utilisées en climatologie et en hydrologie. Publication du Laboratoire de Mécanique des Fluides, Université Grenoble I, section hydrologie, 49 p.

Bois P. (1986) - Contrôle des séries chronologies corrélées par l'étude du cumul des résidus. Actes des Deuxièmes Journées Hydrologiques de l'ORSTOM (Montpellier), p. 89-100. URL : http://hydrologie.org/ACT/JHO/JH02\_0089.pdf.

Bourque A.(2000). Les changements climatiques et leurs impacts. Vertigo . Numéro spécial : Changements climatiques, Vol.1  $N^{\circ}$  2 September 2000

Brunet-Moret Y. (1979). Homogénéïsation des précipitations. Cahier. ORSTOM, série. Hydrologique, vol. XVI no 3-4, pp. 147-170.

Boyer LA, et al. (2002). Essential role for the SANT domain in the functioning of multiple chromatin remodeling enzymes. Mol Cell 10(4):935-42

Buishand TA (1982) Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. J Hydrol 58:11–27

Camus H., Abidi B. (1988). Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. Tunis : Ministère de l'Agriculture ( Direction Génèrale des Ressources en Eau); ORSTOM, 169 p. multigr.

Camus H.,Yote Y., Abidi B., (1991). Homogeneisation et extension des donnees pluviometriques de La tunisie du nord. Secteur Bizerte. Ministère de l'Agriculture Direction Génèrale des Ressources en Eau ; Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM)

Elagib N.A. et Abdu A. S. (1996). Climate variability and aridity in Bahrain. Journal of Arid Environments (1997) 36: 405–419

Evans J., Geerken H. (2004). Discrimination between climate and h u m a n - i n d u c e d d r y l a n d d e g r a d a t i o n. Journal of Arid Environments 57 (2004) 535 - 554

Gao Ž. L., Fu Y. L., Li Y. H., Liu J. X., Chen N, and Zhang X. P. (2011). Trends of streamflow, sediment load and their dynamic relation for the catchments in the middle reaches of the Yellow River over the past five decades. Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 3219–3231, 2012. www.hydrolearthsystsci.net/16/3219/2012/doi:10.5194/ hess-16-3219-2012 Goula B.T.A., Savané I., Konan B., Fadika V., Kouadio G.B., (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources

hydriques des bassins de n'zo et n'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide), Vertigo, vol.7,n° 1, 1-12. Hiez G., Cochonneau G., Sechet P. Et Fernandez U.M. (1992). Application de la Méthode du Vecteur Régional à

l'analyse de la pluviométrie annuelle du bassin amazonien. Veille dimatique satellitaire, n° 43, p. 39-52. Hubert P. Et Carbonnel J.P. (1987). Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. Journal of Hydrology,

vol. 95, n° 1, p. 165- -183.DOI: 10.1016/0022-1694(87)90123-5

Hubert P., Carbonnel J.P. Et Chaouche A. (1989). Segmentation des séries hydrométéorologiques ; application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, vol. 110, n° 3-4, p. 349-367. DOI: 10.1016/0022-1694(89)90197-2

## Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN (electronic): 1737-9350, ISSN (printed): 1737-6688 ; Volume (V) - Numéro I - Septembre 2020

Fayech, and Tarhouni/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92

Hubert P., Bader J.C. Et Bendjoudi H. (2007). Un siècle de débits annuels du fleuve Sénégal. *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 52, n° 1, p. 68-73. URL: http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1623/hysj.52.1.68. DOI: 10.1623/hysj.52.1.68

Jaiswal R.K., Lohani A.K., Tiwari H.L. (2015). Statistical analysis for change detection and trend assessment in climatological parameters. Environ Process 2:729–749. https://doi.org/10.1007/s40710-015-0105-3 183.DOI: 10.1016/0022-1694(87)90123-5

Kallel M. 2003. Caractérisation hydrogéologique et géochimique de l'exutoire des nappes souterraines de la cuvette de Menzel-Habib. PFE, ENIS, Sfax.

Kingumbi A.,(2006). Modélisation hydrologique d'un bassin affecté par des changements d'occupation. Cas du Marguellil en Tunisie centrale. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis.

Kocsis T, Kovács-Székely I (2020) Anda A (2020). Homogeneity tests and non-parametric analyses of tendencies in precipitation time series in Keszthely. Western Hungary Theor Appl Climatol 139:849–859. https://doi.org/10.1007/s0070 4-019-03014 -4

Lafforgue A., Memi, (1983). Homogénéisation des données pluviométriques du centre de laTunisie. BIRH, Tunis, Tunisie.

Meddi, M., Assani, A., Meddi, H., (2010). Temporal variability of annual rainfall in the Macta and Tafna catchments, Northwestern Algeria. Water Resources Management 24, 3817–3833.

Meddi, M., Talia, A., (2008). Pluviometric regime evolution in the North of Algeria. Arab Gulf Journal of Scientific Research 26, 152–162

Nouaceur Z, Laignel B, Turki I (2013). Changements climatiques au Maghreb: vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral Algérien. Physio-Géo, 7, 307-323. http://physio-geo. revues.org/3686;doi: 10.4000/physio-geo.3686

Niang A.J, Ozer A. Et Ozer P. (2008). Fifty years of landscape evolution in South-Western Mauritania by means of aerial photos. *Journal of Arid Environments*, vol. 72, n° 2, p. 97107.

Ouessar M., Taamallah H., Ouled Belgacem A. (2006). Un environnement soumis à forte contraintes climatiques. Entre désertification et developpement :La Jeffara Tunisienne. Tunis (TUN): IRD; Cérès, 2006, 351 p. ISBN 9973-19-683-5

Pettitt A.N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics, vol. 28, n° 2, p. 126-135. DOI: 10.2307/2346729

Romero R., Guijarro J.A., Ramis C., and Alonso S. (1998). A 30-year (1964-1993) daily rainfall data base for the spanish mediterranean regions: first exploratory study, international journal climatoogy, 18, 541-560.

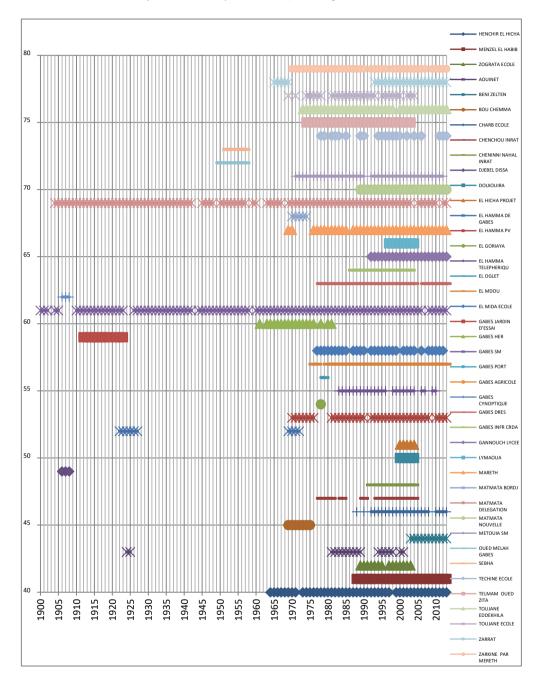
Scheff ,H.(1959). T'he Analysis of Variance, New York: John Wiley & Sons.

Wijngaard JB, Kleintank AMG, Können GP (2003). Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. Int Journal of Climatology 23:679–692

World Bank ,2014 :Turn Down the Heat: Confronting the New Climate Normal. Washington, DC:World Bank. Licence: CC BY-NC-ND 3.0 IGO.http://documents.worldbank.org/curated/en/317301468242098870/Main-report

Wotling, G., Mahé, G.,L'Hôte,Y.&Le Barbé, L. (1995). Analyse par les vecteurs régionaux de la variabilité spatiotemporelle des précipitations annuelles liées à la mousson africaine. Veille Climatique Satellitaire 52,58-73.

Fayech, and Tarhouni/ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 75-92



Annexe I: Disponibilité des données pluviométriques des stations situées dans le sud-est tunisien

Nedjoua Benabadji, Merzouk Abdessamad, Et Benabadji Noury Le complexe édapho-floristique d'une région de l'Oranie (Algérie)

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 93-99

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



### Le complexe édapho-floristique d'une région de l'Oranie (Algérie)

Nedjoua Benabadji<sup>1</sup>, Merzouk Abdessamad<sup>2</sup>, Et Benabadji Noury<sup>3</sup>

- 1: Docteur Université de Tlemcen, Faculté SNV/STU
- 2: Professeur, Université de Tlemcen, Faculté SNV/STU
- 3: Professeur, Université de Tlemcen, Faculté SNV/STU

#### Résumé

La présente étude porte sur une végétation du matorral située dans l'Ouest algérien, elle a été consacrée à l'étude des sols d'une part et le couvert végétal vivace dans trois stations différentes.

Hordeum murinum Avena alba sont les deux poacées qui semblent marquer le paysage par leur présence importante dépassant les 6 (8 station 2).

Les résultats sur les sols montrent une coloration selon Munsell variant entre le rouge et le jaune dans les deux horizons pour l'ensemble des stations.

L'analyse granulométrique affiche une tendance d'éléments grossiers dans les deux horizons. Les limons et les argiles ont des pourcentages oscillant entre 6 et 18 %, ce qui place ces sols de la station 3 dans l'aire sablo-limoneuse.

Le pH est alcalin (Les taux sont de 8.1 et 8). Les sols sont non salés (0.15 et 0.177 mS/cm). Le pourcentage de  $CaCO_3$  moyen, dépasse les 15%. La matière organique est moyenne dans les deux horizons.

Mots clés: Edaphologie, Flore, Matorral, Echantillonnage, Mansourah, Algérie

#### The edaphofloristic complex of a region of Orania (Algeria

#### **Summary**

The present study relates to a vegetation of the scrub located in western Algeria, it was devoted to the study of the soil on the one hand and the perennial plant cover in three different stations.

Hordeum murinum Avena alba are the two poaceae which seem to mark the landscape by their significant presence exceeding 6 (8 station 2).

The results on the soils show a coloring according to Munsell varying between red and yellow in the two horizons for all the stations.

The particle size analysis shows a trend of coarse elements in the two horizons. The silts and clays have percentages varying between 6 and 18%, which places these soils from station 3 in the sandy-silty area.

The pH is alkaline (The rates are 8.1 and 8). The soils are unsalted (0.15 and 0.177 mS / cm). The percentage of average CaCO3 exceeds 15%. Organic matter is average in the two horizons.

Keywords: Edaphology, Flora, Matorral, Sampling, Mansourah, Algeria

1 .

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: <u>as\_merzouk@yahoo.fr</u>

## Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN (electronic): 1737-9350, ISSN (printed): 1737-6688; Volume (V) - Numéro I - Septembre 2020

Benabadji et al. / JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 93-99

#### INTRODUCTION

Le sol est en effet défini comme étant une formation superficielle meuble et relativement stable du terrain portant une certaine végétation; il comporte une fraction minérale et une fraction organique (Jacques-Felix, 1960) in (Guinochet, 1973). Il existe une autre définition, beaucoup plus générale cette fois-ci proposée par Durand (1954, 1958): le sol est le résultat de la transformation d'une roche mère sous l'influence des facteurs physiques, chimiques et biologiques.

Il convient de rappeler que nos zones d'étude ont déjà fait l'objet d'études du sol, notamment celles de Bricheteau (1954), d'Alcaraz (1982), et plus récemment de Benabadji et al. (1996), Merzouk et al. (2009), pour ne citer que ceux-là. Les régions sur laquelle porte notre étude, se localisent dans la partie occidentale de l'Ouest Algérien, faisant partie d'un secteur montagneux appelé « monts de Tlemcen » (zone de Tlemcen).

Les monts sont en fait, une chaîne de montagnes qui s'étend du sud de Tlemcen (Zarifet, 1060 mètres d'altitude), jusqu'aux environs de Sidi Djillali (Djebel Tenouchfi, 1843 mètres d'altitude), suivant une orientation générale nord - sud – ouest. D'après Gounot (1958), « le profil écologique d'une espèce pour un facteur est la distribution des présences ou des quantités de celles-là dans les classes entre lesquelles on a réparti les valeurs prises par celui-ci ».

Gounot (1969), désigne sous le nom de profils écologiques, les diagrammes de fréquence d'une espèce en fonction des classes ou segments d'un facteur. De plus, il a été démontré par ce même auteur, que c'est bien l'étude approfondie des profils qui permet de vérifier la validité des facteurs utilisés. D'un autre point de vue pourtant, les profils ont généralement un caractère irrégulier, et présentent des maximums et des minimums sans ordre (Gounot, 1969).

Nous tenterons à travers cette étude une comparaison à caractère édapho-floristique entre les formations à matorrals situées sur les piémonts montagneux de Tlemcen.

#### Site et Méthodes

#### Situation géographique (carte)

Les stations de la zone d'étude sont disposées le long d'un transect, se situent au dans la commune de Mansourah, qui se trouve à l'ouest de la ville de Tlemcen, limitée au nord par la commune de Hennaya. au sud par la commune de Terny, à l'ouest par la commune de Sabra, et enfin au nord-est par la commune de Chetouane (voir Fig. 1). Elle est traversée par deux (02) routes nationales, la route nationale N°7, reliant Tlemcen vers Maghnia et la RN22 reliant Tlemcen vers Sebdou (Carte). Elles sont orientées vers les versants nord- ouest de Tlemcen, et se localisent approximativement aux environs de 34°52' de latitude nord, et le méridien l °21' de longitude ouest. Il est à noter que ces dernières atteignent toutes une altitude approximative de 700 mètres (Carte).

Nos stations d'étude au nombre de trois (03) ont été choisi à partir d'un échantillonnage stratifié.

#### Méthodes d'analyses des sols

Toutes les analyses et les méthodes utilisées sont détaillées dans le manuel d'Aubert (1978). Nous avons été amenés dans ce chapitre à effectuer des analyses physico-chimiques qui à notre avis nous semblaient des plus significatives et des plus révélatrices pour un sol, nous avons pris en considération :

- Texture,
- Humidité,
- Couleur,
- ▶ pH.
- Conductivité électrique (CE) et la salinité,
- Calcaire total (CaCO<sub>3</sub>),
- Teneur en matière organique.

#### **Texture**

La texture d'un sol correspond à la répartition des minéraux par catégories de grosseur indépendamment de la nature et de la composition de ces minéraux. La texture d'un sol ne tient pas compte du « calcaire » et de la « matière organique ».

En effet la texture définit une proportion relative des différentes fractions (sables- limons-argiles), autrement exprimée, c'est l'abondance relative des particules de dimensions variées : c'est « l'analyse granulométrique ».

L'analyse granulométrique a pour objet la mesure de la taille des particules élémentaires qui constituent les ensembles de grains de substances diverses, elles offrent une définition « quantitative » à l'un des caractères fondamentaux des sols : la « texture »

Benabadji et al./ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 93-99

Dans notre cas la texture a été déterminée à partir de l'analyse granulométrique par « densimétrie » (Casagrande). Les particules sont classées de la façon suivante en fonction de leur diamètre : cailloux et graviers : diamètre > 2 mm Ainsi la « granulométrie » proprement dite concerne la terre fine obtenue par tamissage et après avoir éliminé le calcaire et la matière organique.

Sables: 2 mm – 50 μ
 Limons: 50 μ – 2 μ
 Argiles: < 2 μ</li>

Le principe de l'analyse est basé sur la vitesse de sédimentation des particules (terre fine obtenue auparavant) où chaque particule présente une vitesse de chute par rapport à son diamètre qui est donnée par la formule de « Stockes ». Ensuite à l'aide d'un densimètre que nous avons plongé dans la solution contenant la terre fine, on a mesuré la densité de la solution à différents niveaux et en fonction du temps.

Ces éléments du sol (sables, limons, argiles) ont pu être ainsi quantifiés au pourcentage, et la texture en fin de compte a été obtenue grâce à un « triangle des textures » dont les trois cotés correspondent respectivement aux pourcentages des éléments du sol calculés.





Carte: Situation géographique de la région d'étude

Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN (electronic): 1737-9350, ISSN (printed): 1737-6688; Volume (V) - Numéro 1 - Septembre 2020

Benabadji et al./ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 93-99

#### Humidité au champ

L'humidité au champ correspond à la teneur en eau d'un échantillon de sol à un moment donné, notamment au moment où a été réalisé le prélèvement.

Exprimée en pourcentage, elle est obtenue par différence de poids de l'échantillon, après dessiccation à 105 °C, pendant 48 heures.

 $H\% = ((PF-PS)/PS) \times 100 \text{ ou } H\% = ((PI-P2)/P2) \times 100$ Ou:

H: humidité au champ (%)

PF = PI : poids frais de l'échantillon (avant séchage) (en g) PS = P2 : poids sec de l'échantillon (après séchage) (en g).

#### Couleur

C'est un caractère physique qui peut révéler certaines conditions de pédogénèse et parfois les vocations possibles du sol considéré. Celle-ci est en réalité déterminée sur l'échantillon à l'état sec, suivant le code international Munsell.

#### рH

L'acidification des sols est une notion courante, puisqu'elle désigne un processus important la « fertilité » des sols cultivables. Bien que naturel, l'homme, par ses activités (pollutions atmosphériques, engrais) peut en accélérer les effets. L'acidité d'un sol se définit par son potentiel hydrogène (pH) :

En dessous d'un certain seuil (environ 6 sur l'échelle pH) le sol est trop acide : il limite l'activité biologique (fertilité) et sa structure même est dégradée. En effet, l'acidité a une influence sur l'assimilation des « nutriments » et « oligo-éléments » par une plante.

Il faut également noter qu'en sol acide, certains éléments posent des problèmes de toxicité, car ils sont solubilisés grâce aux pH faibles. C'est le cas de « l'aluminium », on parle alors de « toxicité aluminique »

Ainsi la méthode la plus exacte pour mesurer le pH d'un sol consiste à utiliser un « pH mètre » électrique qui donne directement la valeur du pH quand on plonge des électrodes en verre dans une solution obtenue en mélangeant une part d'échantillon du sol avec deux parts d'eau distillée (Duchauffour, 1984).

Exemple : une suspension formée de 10 g de sol dissous à l'aide d'un agitateur pendant 30 minutes dans 25 ml d'eau distillée.

Après l'agitation et avant la lecture du résultat, il faut laisser la solution au repos durant 5 minutes.

#### Conductivité électrique et salinité

C'est l'aptitude d'un matériau à laisser les charges électriques se déplacer librement, autrement dit à permettre le passage du « courant électrique ». La conductivité électrique est l'inverse de la « résistivité ». Elle correspond à la conductance d'une portion de un mètre de longueur et de un mètre carré (m²) de section.

Parmi les meilleurs « conducteurs », il y a les « métaux » comme le « cuivre » ou « l'aluminium ».

La conductivité d'un sol peut être mesurée à l'aide d'un « conductimètre ». L'unité de mesure communément utilisée est le « Siemens » (S/cm) exprimée souvent en micro Siemens / cm ou milli Siemens (mS / cm). Le résultat de mesure est le plus souvent indiqué en mS / cm.

Ainsi on a déterminé la conductivité électrique (extrait 1/5) de la manière suivante :

On procède par la mise de 10 g de terre fine dans un bécher de 100 ml, on rajoute 50 ml d'eau distillée, et on place le bécher sous agitation pendant une demi-heure. Après repos de 5 minutes on mesure la conductivité électrique à l'aide du « conductimètre » qui est exprimée en milli Siemens / cm (mS /cm).

#### Relevés floristiques

#### Introduction

La diversité des paysages qui est le résultat de la mosaïque crée par les écosystèmes en interaction peut être décrite en fonction de la surface des divers écosystèmes et de la distance qui existe entre eux (Dajoz, 2000 in Benabdelmoumène, 2018). Les tapis végétaux présents suivent un aspect en mosaïques. Les perturbations jouent un rôle majeur dans l'hétérogénéité de la structure spatiale et temporelle ainsi que dans la dynamique des communautés naturelles, elles sont des agents de sélections naturelles dans l'évolution des stratégies adaptatives. La végétation dans ces zones a connue des perturbations profondes souvent liées à l'usage et l'exploitation des ressources naturelles (Le-Houerou, 1984). La raison qui nous a conduits à effectuer des inventaires floristiques dans des stations de la région de Tlemcen étant pour connaître l'état et la richesse floristique en relation avec le substrat édaphique.

Benabadji et al./ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 93-99

#### Résultats et interprétations

Tableau I : Relevés floristiques dans la région de Tlemcen

Stations	I		2		3	
	A-D	Présence	A-D	Présence	A-D	Présence
Strate arborée (5) Pinus halepensis Mill. Quercus ilex L. Pistachia atlantica Desf. Juniperus oxycedrus L. Olea europea L.		6 5 4 4 3	1 + 1 +	3 2 3 3	+ 	2 3 3 1 2
State arbustive (6) otome villosa Rouy Ziziphus lotus (L. ) E odesma mauritanicum (Poiret) Dur. et ! Chamaerops humilisL. Asparagus albus L. Cistus ladaniferus L.	2 2 3 4 3 2	7 2 6 5 3 2	2 2 1	8 6 3 4 3 2	1 2 2 1 1	5 6 5 5 4 5
Strate herbacée (7)						
Hordeum murinum L. Avena alba Vahl. Sinapis arvensis L. Matthiola longipetala (Vent) DC. Astragalus pentaglottis L. Raphanus raphanistrum L. Medicago minimag Rufb	1 1 2 1 2	6 6 5 6 7 4	2 2 3 2 2 I	8 6 5 5 4 4 3	2   1   1   1   + + + .	4 4 6 7 4 5

#### Strate arborée (tableau I)

Le *Pinus halepensis* semble dominer dans les trois stations avec des présences variant de 6 (station 3) à 2 (station 1). Le *Quercus ilex* se place en deuxième position avec respectivement des présences fluctuant entre 5 (station 1) et 3 (station 3). Puis viennent les espèces ligneuses *Pistachia atlantica Juniperus oxycedrus Olea europea* avec des presences relativement faibles qui variant entre 3 et 1.

#### Strate arbustive (tableau 1)

Le Calycotome villosa et le Ziziphus lotus dominent cette strate arbustive dont les valeurs variant pour la première espèce entre 8 (station 2) et 5 (station 3). Concernant la deuxième celle-ci oscille entre 6 (stations 2 et 3) et 2 (station 1) Apelodesma mauritanicum,

Chamaerops humilis, Asparagus albus et Cistus ladaniferus ne possèdent pas une présence significative, les taux varient entre 6 (station 1) et 2 (station 2).

#### Strate herbacée (tableau 1)

Hordeum murinum Avena alba sont les deux poacées qui simposent par leur présence importante dépassant les 6 (8 station 2). Ces deux brassicacées Sinapis arvensis Matthiola longipetala dominent le couvert herbacé, dans les trois stations leurs taux varie entre 5 et 6. Astragalus pentaglottis Raphanus raphanistrum Medicago minima sont moins importants leurs taux varient entre 7 (station 1) et 3 (station 3). Ces annuelles occupent en partie le paysage végétal. Des travaux de caractérisations floristiques peuvent les compléter.

Benabadji et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 93-99

Tableau 2 : Résultats analytiques du sol région Tlemcen

marious 2 : 1100miluo miluo/ mquoo uu oo 110gioni 110miluon							
Stations	1	1		2		3	
Echantillons	ı	2	3	4	5	6	
Profondeur (cm)	0-10	10 – 45	0-10	10-40	0 -10	10-40	
Couleur Munsell	10 R 3/4	2.5YR 4/3	IOR 3/4	2.5YR 5/3	IOR 3/6	2.5YR4/3	
Sables fins (%)	51	48	49	45	31	58	
ables grossiers (%)	10	9	- 11	10		14	
Limons (%)	22	27	18	24	18	16	
Argiles (%)	- 11	13	5	10	12	6	
Texture	limoneuse	limoneuse	limoneuse	limoneuse	limoneuse	limoneuse	
Humidité (%)	1.98	1.93	3.75	1.61	2.3	2.03	
pН	7.91	8	8.02	8	8.1	8	
iductivité électrique (mS/cm)	0.15	0.177	0.202	0.165	0.225	0.225	
CaCO3 (%)	15.66	21.08	10.85	15.5	18.29	20.15	
tière organique (%)	2.1	1.68	3	2.04	2.6	2.6	

#### Station I (tableau 2)

La coloration selon Munsell varie entre le rouge et le jaune dans les deux horizons.

L'analyse granulométrique montre une tendance d'éléments grossiers (51 et 48%) dans les deux horizons. Les limons et les argiles ont des pourcentages oscillant entre 27 et 11 %, ce qui place ces sol de la station 1 dans l'aire sablo-limoneuse. Le pH est alcalin (Les taux sont de 7.91 et 8). Les sols sont non salés (0.15 et 0.177 mS/cm). Le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> moyen, dépasse les 15%. La matière organique est moyenne dans les deux horizons.

#### Station 2 (tableau 2)

Peu de changement là aussi, la coloration selon Munsell varie entre le rouge et le jaune dans les deux horizons. L'analyse granulométrique montre une tendance d'éléments grossiers (31 et 58%) dans les deux horizons. Dans l'aire sablo-limoneuse les limons et les argiles ont des pourcentages oscillant entre 10 et 24 %.

Le pH est alcalin (Les valeurs sont de 8 et 8.02). Les sols sont non salés (0.16 et 0.20 mS/cm). Le CaCO<sub>3</sub> est moyen, dépasse les 18.29. Moyenne la matière organique s'élève à 2.6 % dans les deux horizons.

#### Station 3 (tableau 2)

La coloration selon Munsell varie entre le rouge et le jaune dans les deux horizons

L'analyse granulométrique montre une tendance d'éléments grossiers (51 et 48%) dans les deux horizons. Les limons et les argiles ont des pourcentages oscillant entre 6 et 18 %, ce qui place ces sol de la station 3 dans l'aire sablo-limoneuse. Le pH est alcalin (Les taux sont de 8.1 et 8). Les sols sont non salés (0.15 et 0.177 mS/cm). Le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> myen, dépasse les 15%. La matière organique est moyenne dans les deux horizons.

## Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement ISSN (electronic): 1737-9350, ISSN (printed): 1737-6688; Volume (V) - Numéro 1 - Septembre 2020

Benabadji et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 93-99

#### **Conclusion**

Les facteurs climatiques influent sur les apports d'eau douce. La vitesse de croissance des végétaux sont conditionnées par la qualité des sols en particulier par l'acidité et la matière organique.

Les fractions granulométriques permettent de classer le sol dans une classe de texture sablo-limoneuse dans les trois stations. La relative richesse du sol en limons donne au sol une couleur souvent brun rougeâtre. Les sols sont exposés aux précipitations irrégulières et insuffisantes. Le couvert végétal est relativement réduit avec un cortège floristique peu fourni, il reste souvent exposé aux actions anthropiques et de ce fait peut porter préjudice au sol. Les défrichements transforment la physionomie de ce parcours qui peut exposer les sols aux érosions éoliennes.

#### Références bibliographiques

- 1. Alcaraz C., La végétation de l'Ouest algérien. Thèse doctorat Etat, Univ. Perpignan, (1982) 415p.
- 2. Aubert G., Méthodes d'analyses des sols. 2 ème édition. C.N.D.P. Marseille, (1978) 191 p.
- Benabadji N., Bouazza M., Metge G. et Loisel R. . Description et aspects des sols en région semi-aride et aride au Sud de Sebdou (Oranie-Algérie), Bull. Inst. Sci. Rabat., 20 (1996): 77-86.
- 4. Bricheteau j., Esquisse pédologique de la région de Tlemcen. Terny. Ann. Inst. Agro.lger. Maison carrée, VII. 3, (1954) 28 p.
- 5. Camiz S. Dowgiallo G. and Lucchese F.,. Edaphic characters of *Brachypodium* communities on the seps and the Apennines. Ecol. Med. Marseille, Tome XVIL (1991) 33-49.
- 6. Casagrande A.,. -Die Oraometer- Methode Zûr Bestimmung 1er Koruverteïluug Von boden. (1934) Berlin.
- 8. Duchauffour Ph.,. Abrégé de pédologie. Ed. Mass. Cie. Paris (1984) 220 p.
- 9. Durand J.,. Les sols d'Algérie. Alger. Gouv. Gén., de l'Algérie. Service pédologie et hydraulique, (1954) 224 p.
- 10. Durand J.,. Les sols irrigables (étude pédologique). Alger. Serv. Et. Sols. (1958) 177 p.
- 11. Gounot M.,. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Mass. Cie. Paris (1969) 314 p.
- 12. Guinochet M.,. Phytosociologie Ed. Mass.et Cie Paris (1973) 296p. .
- Merzouk A. Benabadji N., Benmansour D. et Thinon M., 2009. Quelques aspects édapho-floristiques des peuplements halophilles de l'Algérie occidentale. Bull. Soc. Linn. 60: 58-98.
- 14. Munsell Soil Color Charts., 1970. Munsell Color Inc. Baltimore, Marylaud L 21218. U.S.A.
- 15. Quezel P., 2000. Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb Méditerranéen. Ibis Press, Paris : 117 p.

Boudghene Stambouli Sihem, Kahouadji Selma, Benabadji Noury Etude de la tolérance aux sels chez la lentille (Lens esculenta) Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 100-110 ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access www.jiste.org



## Etude de la tolérance aux sels chez la lentille (Lens esculenta) Boudghene Stambouli Sihem<sup>1</sup>, Kahouadii Selma<sup>2</sup>, Benabadii Noury<sup>3</sup>

1 et 2 : Etudiantes Faculté SNV /STU, Département d'agronomie 3 : Professeur, Docteur d'état Es-Sciences Faculté SNV /STU, BP 119, Tlemcen 13000

#### Résumé

Scientific Press International Limited

Les résultats obtenus germination d'une espèce de fabacée montrent que : Le **NaCl** (chlorure de soduim) en fin de compte s'est révélé plus inhibiteur en réduisant significativement le % de la germination que le **K2SO4**. (sulfate de potassium), remarqués plus chez la lentille. L'espèce **Lens esculenta** a réagit aux augmentations des concentrations croissantes et en pout dire dans les deux miliaux (**5°C** et **20°C**) elles est

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 chez cette espèce en particulier pendant les deux premières semaines.

**Mots clés :** Germination, Lentille : Lens esculenta , NaCl (chlorure de sodium),  $K_2SO_4$  (sulfate de potassium)

## Salt-tolerant plant in lentils (Lens esculenta)

#### **Abstract**

The results obtained show that:

NaCl (sodium chloride) ultimately proved to be more inbitory by significantly reducing the % germination and size of seedling than K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (potassium sulphate) more noticeable in lentils than peas. Both species responded to increases in increasing concentrations, and in both media (5°C and 20°C), they also exhibited negative correlations. Cold temperatures (5°C) appear to slow germination particularly during the first two weeks.

**Keywords:** Germination, lentils: Lens esculenta, NaCl (sodium chloride),  $K_2SO_4$  (potassium sulphate).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: <u>bstsihem@gmail.com</u>

#### INTRODUCTION

En Algérie, les légumineuses alimentaires sont cultivées dans pratiquement toutes les régions des hauts plateaux situés dans les zones semi-arides et les plaines intérieures subhumides à (isohyètes 350 à 450 mm). Elles sont donc d'un grand intérêt national, et comprennent des espèces très importantes utilisées comme cultures vivrières qui viennent après les céréales et avec qui elles forment la base du régime alimentaire notamment pour une large couche des populations (**Boudjenouia, 2003 cité par Almi, 2016**).

Les cultures sont dépendent des principaux facteurs qui limitent la productivité végétale, la salinité des sols et des eaux d'irrigation étant un de ces facteur (Flowers, 2004). Le problème de la salinité prend de plus en plus d'ampleur dans la plupart des pays en voie de développement, où les terres fertiles et les eaux de bonne qualité sont devenues nettement insuffisantes pour une population sans cesse croissante (Shay, 1990). Ainsi, parmi ces espèces, la lentille (Lens culinaris) est classée comme la troisième importante culture légumineuse après le haricot (Phaseolus vulgaris) et le petit pois (Pisum sativum). Peu exigeante la lentille est sur la nature du sol; cependant elle préfère les sols légers et calcaires, assez résistante à la sécheresse et aux températures élevées.

Elle joue aussi un rôle important dans les systèmes de cultures en contribuant à l'amélioration de la fertilité des sols par les reliquats d'azote qu'elle laisse à travers ses nodosités et constitue ainsi l'un des meilleurs précédents culturaux lors des rotations de cultures.

Que peuvent apporter comme information ces traitements (irrigation) à base de sels utilisés ? La variabilité concentration en sel va-t-elle influencer le pourcentage de germination en présence de deux milieux de températures différentes (20°C et 5°C) ? Les germinations seront-elles levées dans les premiers moments de l'expérience?

Pour tenter d'apporter des éléments de réponse nous développerons :

- Biomorphologie de Lens esculenta
- Matériels et méthodes
- Résultats et interprétations
- Conclusion
- Références bibliographiqques

#### Biomorphologie de Lens esculenta

#### Généralités sur la lentille

La lentille **Lens esculenta**, est une plante annuelle, herbacée à racine pivotante mince, érigée de couleur verte pale atteignant 60-65 cm de haut; tige carrée avec des feuilles alternes composées pennées. **Le zéro de la germination de la lentille est de 4 à 5°C. Le cycle végétatif de la plante est très court (de 120 à 150jours). (Muehlbauer et al., 1980 cité par Teggar 2015).** 



Figure I: Photos de la plante de la lentille et des graines utulisées (I: Boudghene Stambouli Sihem et Kahouadji Selma, 2020, 2: Google)

#### Morphologie et classification botanique

D'un point de vue morphologique (Figure I), les lentilles ont des tiges minces et atteignent rarement 45 cm de hauteur et ont une croissance indéfinie (Saskatchewan Pulse Growers, 2000; Saskatchewan, 2002). Les deux premiers nœuds de la tige sont vestigiaux et se situent au niveau du sol ou sur la surface. Si la dominance apicale est brisée ou si les conditions de croissance sont favorables, la plante peut produire jusqu'à quatre rameaux basilaires à partir des bourgeons dormants du deuxième de ces nœuds et jusqu'à cinq rameaux aériens à partir des cinq nœuds situés immédiatement sous la première fleur. Si les conditions de croissance sont extrêmement favorables, les rameaux aériens peuvent produire des rameaux secondaires.



Figure 2: Morphologie d'une plante de lentille : (1) Plante, (2) Feuilles, (3) Gousse, (4) Graine. (Google)

D'un point de vue taxonomique, la classification classique des lentilles se présente comme suit selon Cokkizgina (2013) et Anonyme I (2012):

Règne: Plantae;

Sous Règne: Tracheobionta;

**Embranchement**: Spermatophyta; **Sous Embranchement**: Magnoliophyta;

Classe: Magnoliopsida; Sous Classe: Rosidae; Ordre: Fabales; Famille: Fabaceae;

**Genre**: Lens **Espèce**: Lens culinaris ou esculenta

#### **MATERIELS ET METHODES**

#### Méthodologie:

Site

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

Préparation des dilutions :

Page 103

Afin de suivre la germination des graines au stade végétatif juvénile incontournable de la vie des plantes en général et des végétaux en particulier, nous avons pris en considération les graines de lentille (*Lens esculenta*). Nous avons soumis ce matériel végétal aux traitements par les sels (**NaCl** et **K2SO**4) 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 une espèce de fabacée (espèce annuelle à large consommation). Les concentrations salées agissent des fois à faibles doses (1g/l à 2g/l). Il a été procédé ainsi délibérément à retenir dans le cadre de nos essais la gamme présentée ci-dessus. La dernière forte concentration ou considérée comme telle (10g/l) a été prise dans le protocole, pourquoi, on peut répondre en partie à cette question, en effet la réponse devant une concentration pareille ralentie ou peut inhiber totalement la germination. Une expérience un peu périlleuse à laquelle nous serons vraisemblablement exposées devant cette fabacée ?

• Deux températures ce sont 20°C (température ambiante du laboratoire), et 5°C (température du frigidaire) qui nous avons choisies car celles-ci sont accessibles, compte tenu de leur disponibilité sur place. Une question obligatoire s'impose : ces deux milieux auront-ils des effets, et lesquels sur la germination?

**Tableau I**: Conductivités électriques (CE) et pression osmotiques de différentes concentrations de **NaCI** et de  $K_2SO_4$  utilisées (Boudghene Stambouli Sihem et Kahouadji Selma, 2020)

	ı	NaCl	K₂SO₄		
Concentrations	C.E (mS/cm)	P.O (Atmosphère)	C.E (mS/cm)	P.O (Atmosphère)	
[0g/l]	0.3	0.108	0.3	0.108	
[ g/ ]	1.8	0.648	1.7	0.612	
[2g/l]	3.6	1.296	3.4	1.224	
[3g/l]	5.4	1.945	5.1	1.944	
[4g/l]	7.2	2.592	6.8	2.448	
[5g/l]	9	3.24	8.5	3.06	
[6g/l]	10.8	3.888	10.2	3.672	
[10g/l]	18	6.48	17	6.12	

- La préparation des dilutions dans de l'eau distillée des solutions salines mères de NaCl (100g/l) et de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (100g/l) a été effectuée comme suit :
- On a pris successivement 100 g de **Na CI** (chlorure de sodium pure) et100g **K₂SO**₄ (sulfate de potassium),
- On a complété avec de l'eau distillé à 1000 ml (1 litre),
- Les deux préparations ensuite ont subi une dissolution puis un chauffage compte tenu de leur dureté.
- A partir des 2 solutions mères de 100g/l (**NaCl et K₂SO**₄), sept concentrations furent établies : 1g/l, 2g/l, 3g/l, 4/l, 5g/l, 6 g/l et 10 g/l.

#### Préparation des graines et semis :

Avant la mise en germination les graines sont sélectionnées en fonction leur état sanitaire, celles-ci sont lavées à l'eau courante,

Au nombre de 10 nous les avons disposées linéairement à l'aide d'une pince stérilisée dans des boites de pétri de 10 cm de diamètre garnies et déposées sur 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).

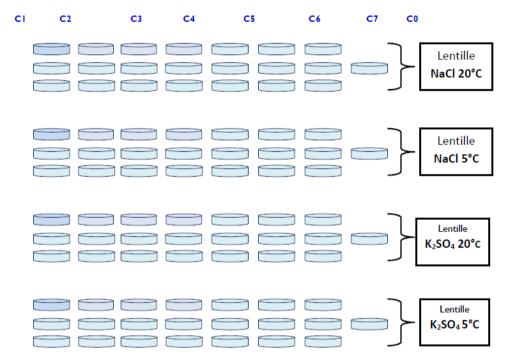


Figure2 : Dispositif expérimental de l'essai de germination des graines de lentille

#### RESULTATS ET INTERPRETATIONS

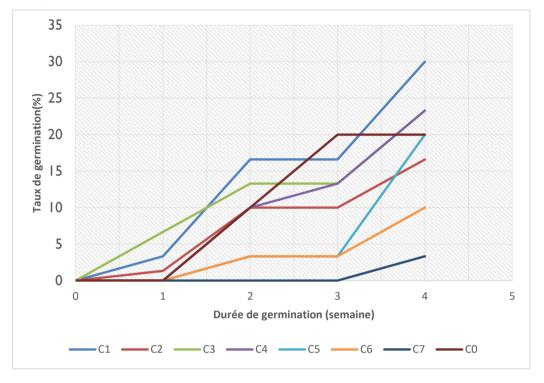


Figure 3: Germination des graines de *Lens esculenta* dans différentes concentrations de NaCl à température ambiante 20°C en fonction du temps

En milieu ambiant (20°C) nous assistons à augmentation relativement faible car les pourcentages n'excèdent pas ici n'est pas les 30%. Elle s'élève à des valeurs qui vont chercher des pourcentages ne dépassant pas les 30% pour *Lens esculenta*. Le départ de la germination traité avec les concentrations de NaCl freine pour ne pas dire ralentit le départ de cette phase juvénile de graines. Au cours de la deuxième semaine les valeurs s'élèvent et atteignent 10 à 15%. De la troisième à la quatrième semaine les chiffres oscillent et se stabilisent pour la plupart entre 5 et 20% (Figure 3).

Le témoin (eau distillée) semble agir différemment dans cette expérience. La germination est annoncée tardivement à partir de la deuxième semaine pour augmenter sensiblement et se stabiliser à 20%, une valeur inférieure au traitement de Ig/l de **NaCI** (Figure 7). La concentration 10g/l semble arrêter carrément la germination, où il est enregistré un pourcentage très bas à la quatrième semaine (moins de 5%).

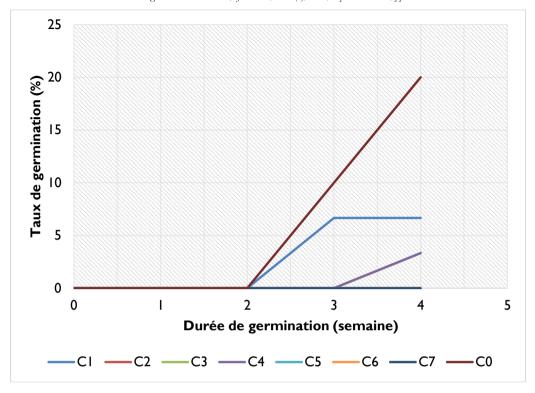


Figure 4 : Germination des graines de *Lens esculenta* dans différentes concentrations de **Na**CI à température 5°C en fonction du temps

En présence du froid 5°C la germination est retardée. Elle s'effectue à partir de la deuxième semaine mais uniquement pour les traitements à l'eau distillée, et les concentrations : Ig/I 3g/I et 4g/I. L'augmentation très faible ne va pas dépasser les 20%. Elle s'élève à des valeurs qui vont chercher des pourcentages ne dépassant pas les 20% pour *Lens esculenta*. Le départ de la germination traité avec les concentrations de NaCI inhibe là également pour ne pas dire stabilise le départ de cette germination des lentilles. Au cours de la deuxième semaine les valeurs s'élèvent et atteignent I0 à 15%. De la troisième à la quatrième semaine les chiffres varient et montrent des seuils où les pourcentages affichent 5 et 20% (Figure 4).

La germination en présence du témoin (eau distillée) augmente d'une manière linéaire dans cette expérience à partir de la deuxième semaine, celle-ci va s'arrêter à la quatrième semaine pour atteindre 20% (Figure 7).

Nous relevons une absence de germination chez les lentilles traitées par les concentrations (2g/l, 5g/l, 6g/l et 10g/l), à quoi cela est du ? A notre avis on soupçonnera de toutes les façons la température de frigidaire froide accompagnée et du sel (NaCl) qui semblent posséder une action réductrice.

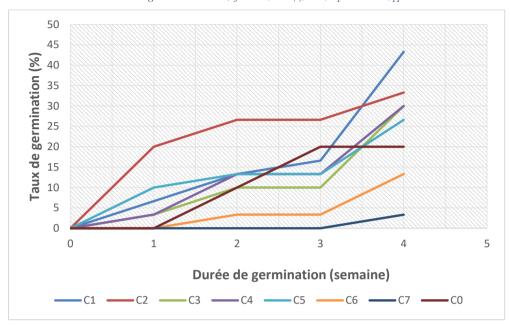


Figure 5 : Germination des graines de *Lens esculenta* dans différentes concentrations de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à température ambiante 20°C en fonction du temps

Dans un milieu ambiant de  $20^{\circ}$ C la germination est relativement lente. Elle se déclenche à partir de la première semaine pour les différents traitements à l'eau distillée, et les concentrations : Ig/I 3g/I et 4g/I. L'augmentation relativement soutenue ne va pas dépasser les 40%. Elle s'élève à des valeurs qui vont chercher des pourcentages ne dépassant pas les 40% pour *Lens esculenta*. Le départ de la germination traité avec les concentrations de  $K_2SO_4$  agit favorablement pour les concentrations faibles. Alors qu'à très fortes concentrations (6g/I et 10g/I) les germinations ne semblent pas réagir d'une manière positive (ne dépassant pas les 15% à la quatrième semaine) (Figure 5).

L'arrosage avec l'eau distillée ne permet pas une bonne germination. Celle-ci commence à partir de la seconde semaine pour enfin se stabiliser à un niveau de 20%. Une situation un peu inattendue avec ce traitement qui aurait pu en principe favoriser normalement le processus germinatif des graines de lentille et non l'inhiber. Ces résultats avec le  $K_2SO_4$  nous amènent à remarquer contrairement aux précédents traitements avec le **NaCl** une meilleure réponse germinative chez les lentilles traitées par les concentrations (1g/l, 2g/l, 3g/l, 4ll, et 5g/l) (Figure 7).

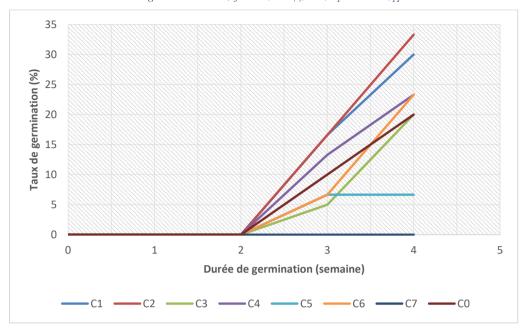


Figure 6: Germination des graines de *Lens esculenta* dans différentes concentrations de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à température 5°C en fonction du temps

Le froid à 5°C n'est guère favorable au démarrage de la germination. Dans l'ensemble des traitements la germination débutent à partir de la deuxième semaine. Les différents traitements montrent à travers les résultats une élévation linéaire. Les pourcentages de germination s'élèvent de 20% à 33%, excepté pour le traitement à 10g/l, où aucune graine n'a germé (Figure 6).

L'eau distillée agit, on dire d'une manière favorable. L'augmentation relativement soutenue ne va pas dépasser les 20%. L'arrosage avec l'eau distillée ne permet pas une bonne germination en présence du froid. Celui-ci commence à partir de la seconde semaine pour enfin se stabiliser à un niveau de 20%. Là aussi nous assistons au même phénomène observé précédemment (Figure 7).

Le froid à 5°C n'agit pas en faveur de ce stade de végétation (germination), il gène pour ne pas dire carrément le freiner. Il est à remarquer aussi le temps de latence observé à chaque fois quand la température est froide.

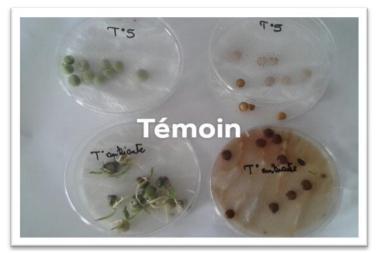


Figure 7 : Photo de la germination des graines du témoin à température 5°C et 20°C après 4 semaines

#### **CONCLUSION**

L'effet des variantes températures (5°C et 20°C) a provoqué chez les graines de lentille, un allongement de la période de germination allant de I semaine pour la température 20°C jusqu'à 3 semaines pour la température 5°C. Ce retard lié au démarrage du processus germinatif pourrait éventuellement à notre avis s'expliquer par les retards métaboliques chez les plantes.

Selon les résultats obtenus, in vitro, les graines de *Lens esculenta* sont capables de germer en présence de la plus forte concentration (10g/l) où le taux de germination atteint 73% (**K2SO**4) chez la lentille. Il est connu que les fortes concentrations agissent sur le stress salin en l'augmentant. Les perturbations observées pourraient être expliquées d'autre part par une diminution du potentiel osmotique du milieu suite à l'ajout du sel.

#### Références bibliographiques

- H. Almi Etude des myco-pathogènes de Lens culinaris et évaluation de l'effet de deux souches de Trichoderma herzianum: cas de la fusariose et de la Cylindrosporiose. Doctorat de Biologie. UNiv. Constantine (2016), 116p.
- 2. Cokkizgin Ţ. Mungez And Y. Shtaya. Lentil: Origin, Cultivation Techniques, Utilization and Transformation. Agricultural Science Volume I, Issue I. (2013), P: 55-62.
- 3. T. Flowers Improving crop salt tolerance. Exp. Bot., 55 (396), (2004), pp. 307-319.
- E.-Shay Saline agriculture. Salt-tolerant plant for developing countries. Report of a panel of the board on science and technology for international development office of international affairs national reseach, National Academies Press, Washington, DC. (1990), 143 p.
- Saskatchewan. Lentil in Saskatchewan. Saskatchewan Agriculture and Food, Regina (2002).
- Teggar Edude l'effet 6. du nodulation quelques stress paramètre biochimique morphologique de et la lentille lens culinaris L).Mém.Magister. Bio. Univ d'Oran(2015),68p.
- S. Kahouadji et S. Boudghène Stambouli Etude de l'effet des concentrations croissantes de NaCl et de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur deux espèces cultivées : Lentille (*Lens culmaris* subsp : esculenta Moench)
   Petit pois (*Pisum arvense* L.P.F.). Mém. Master. Univ.Tlemcen. (2020) ,98p.

# INTERNATIONAL JOURNAL

# Water Sciences and Environment Technologies

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

Volume (V) - Issue 1 — September 2020

## Water-Climate'2020



Water Resources and Climate Change

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

Published by:

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

Radhia Essamin, Rim Katlane, Samir Kamel

Mapping flood impacts arising from land cover maps of Sidi Salem dam and Bousalem city,

International Journal Water Sciences and Environment Technologies

Vol. (v), No. 2, September 2020, pp.112-122

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



## Mapping flood impacts arising from land cover maps of Sidi Salem dam and Bousalem city, north western Tunisia

Radhia Essamin<sup>1</sup>, Rim Katlane<sup>2</sup>, Samir Kamel<sup>3</sup>

- <sup>1</sup> Hydrosciences Appliquées, Institut Supérieur des Sciences et Techniques des Eaux de Gabès, ISSTEG, Université de Gabès, Tunisia
- <sup>2</sup> GEOMAG (LR19ES07)/PRODIG (UMR 8586), University of Mannouba-Tunis Campus universities B.P.95 2010 Manouba, Tunisia;
- <sup>3</sup> Hydrosciences Appliquées, Institut Supérieur des Sciences et Techniques des Eaux de Gabès, ISSTEG, Université de Gabès, Tunisia ;

#### **Abstract**

Automatic land cover classification from satellite images is an important topic in many remote sensing applications. In this study, the spatial distribution of the inundation hazards around Sidi Salem dam and Bousalem city was determined using land-cover maps derived from classification of Landsat images. This study modeled the spatiotemporal changes of Sidi Salem dam and its surroundings and Bousalem city during the rainy episode of February and March 2015 using the multi-temporal Landsat 8-OLI-TIRS images. Our findings revealed that the releases of 394.184 Mm3 from the dam during the month of March have had significant impacts on the region. They caused changes in the dam holding area in 18/03 which increased by a factor of 150% that of January requiring major evacuations leading flooding around the dam and the city of Bousalem where urban areas and entire roads (C60 and C75) were covered with mud spoofed by the wadi Medjerda. The results indicate an intense decreasing trend in Sidi Salem dam surface area in 03rd April, when it lost the majority of its surface area compared to the previous month. The results illustrate the effectiveness of the automatic land cover classification approach for surface water change detection, especially in detecting the changes between two and three different times, simultaneously.

Key Words: Floods, classification, Land cover map, Landsat Images, Tunisia.

## Cartographie des impacts des inondations résultant des cartes d'ocupation de sol du barrage de Sidi Salem et de la ville de Bousalem, au nord-ouest de la Tunisie

#### Résumé

La classification automatique de l'occupation de sol à partir d'images satellites est un sujet important dans de nombreuses applications de télédétection. Dans cette étude, la distribution spatiale des risques d'inondation autour du barrage de Sidi Salem et de la ville de Bousalem a été déterminée à l'aide des cartes de couverture terrestre dérivées de la classification des images Landsat. Cette étude a modélisé les changements spatio-temporels du barrage de Sidi Salem et de ses environs et de la ville de Bousalem pendant l'épisode pluvieuse de février et mars 2015 en utilisant les images multi-temporelles Landsat 8-OLI-TIRS.Nos résultats ont révélé que les rejets de 394,184 Mm3 du barrage au cours du mois de mars ont eu des impacts importants sur la région. Entrainant des changements dans la zone de retenue du barrage en 18/03 avec une augmentation d'un facteur de 150% par rapport à janvier, nécessitant des évacuations majeures entraînant des inondations autour du barrage et de la ville de Bousalem où les zones urbaines et les routes entières (C60 et C75) étaient couverts de boue issue d'oued Medjerda. Les résultats indiquent une tendance à la baisse intense de la superficie du barrage de Sidi Salem au 03 avril, date à laquelle il a perdu la majorité de sa superficie par rapport au mois précédent. Les résultats illustrent l'efficacité de l'approche de classification automatique de la couverture terrestre pour la détection des changements des eaux de surface, en particulier pour détecter les changements entre deux et trois moments différents, simultanément.

Mots clés: Inondations, classification, carte de l'occupation du sol, images Landsat, Tunisie

\_

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: <u>radhiaessamin@gmail.com</u>

Essamin et al./ IISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 112-122

#### INTRODUCTION

Floods are the most devastating natural hazard affecting the social and economic aspects of population [1] and claiming more lives than any other natural phenomenon [2]. Flooding is normally severe in flood plains wich are regions of a valley floor located in either side of a river channel that is full of sediments deposited by the river that flows through the surface of land [2]

In Tunisia, the flooding phenomenon is ancient, throughout history we count by tens the number of times various regions were affected. The inventory of flooding which has produced material or human damage and reveals a marked worsening of the hydrological risk. Over the past five decades, they have caused nearly 800 deaths and material losses which figures on the amount to hundreds of millions of dinars [3] The brutal and intense rains befalling exceptionally Tunisia cause flooding suceptible to induce significant damage in different areas of the watershed of Mejerda North Western Tunisia mainly Ghardimaou near the border with Algeria, Bousalem tail of the dam Sidi Salem, Slouguia and Medjez El bab [4]. Among the most significant floods over the course of Mejerda; Flood December 1934 (2060 m3/s), September 1969 (1485 m3/s in Bousalem, 1440 m3/s in Mejez El bab), March 1973 (3360 m3/s in Bousalem) and February 2003 (1020 m3/s in Bousalem with 4 points from successive floods in a month having accumulated one million m3 contributed to Sidi Salem. the management of these floods was their lamination to prevent damage to downstream and then evacuate them in time [4]. The flood in 1973 has had significant impacts on the entire Mejerda valley where the flooded area reached 473 square kilometers. The thickness of the deposits varies from a few millimeters to more than 2 meters (2.30 meters in Testour and Slouguia) [5].

Remote sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) techniques provide effective tools for considering the land use and land cover dynamics of the area as well as for observing, mapping and management of natural assets [6]. These techniques present an effective means of lineating such areas at risk and for communicating this to decision-makers, emergency response teams and the general public [7]. Flood mapping is the vital component in flood moderation measures and land use planning Satellite based remote sensing images have been used to map the extent of flood inundation since the early 1970 [8]. Most of the early studies used optical remote sensors which cannot penetrate clouds such Landsat MSS and TM, so they have been mainly used to observe post flood inundation extent [9].

This paper attempts to track impacts of floods arising from land use maps around Sidi Salem dam and city of Bousalem. Three dated Landsat images were used to detect dynamics of land occupation before and after inundation. Supervised and unsupervised classifications of Landsat images are imperative to insure precise change-detection results.

#### Study area

The study area lies on latitudes 36° 28' N and 36° 48' N and longitudes 8° 50'E and 9° 40'E. It include the Dam of Sidi Salem and the Bousalem city and its surroundings located in the North West of Tunisia (Fig. I).

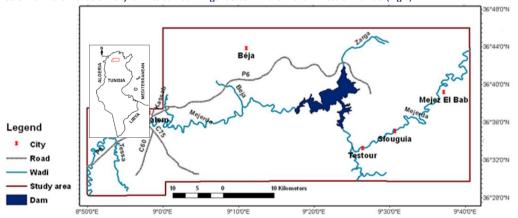


Fig I: Study Area.

The Sidi Salem dam is located 10 km south east of Beja city. It is an earth dam based on marl and sandstone of Miocene, high of 70 m, with 340 m long crest, having two large diversion tunnels with 8.20 m of diameter reused in bottom outlet (to 640 m3/s) and current floods spillway (free threshold in saturated wells 690 m3/s). It is provided with an overflow spillway with three large valves sector totaling 3 x 1400 = 4200 m<sup>3</sup> /s of flow capacity [10]. Its storage capacity to normal coast after the two successive enhancements in 1997 and 1999 is approximately 762 million m3. It is built on the main course of the wadi Mejerda west of Mejez El Bab. Besides the drinking water supply, irrigation and hydropower generation, this dam is designed to protect the lower valley of Mejerda against floods, by making the rolling of peak flows, particularly

Essamin et al./ IISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 112-122

during the largest floods. In fact, the dam has divided the peak flow centennial flood by three. In Slouguia station, it increased from 3300 m3/s before the dam to 1100 m3/s after its entry into service [10].

The City of Bousalem is located 55.7 km west of the Sidi Salem dam on an area of 33649 ha. It is traversed by the main course of the Mejerda over a length of 53 km. Two tributaries; wadi Bouhertma at the left and wadi Tessa at the right bank power this section. The corresponding water system has a multitude of winding on flat relief where the variation of the slope is very low [11]. The climate is Mediterranean with a dry season coinciding with the hot season; the very capricious rainfall and temperature have a sensitive latitudinal gradient from the far north of the wet Mejerda basin with 750 to 1200 mm of rain and 17 ° C of annual average temperature [5].

#### MATÉRIFI S ET MÉTHODES

The methodology includes two parts (see Figure 2), The first is the treatment of dam data (Stock and Evacuated volume) (see Table I) collected from DGBGTH in Excel software to get the histograms of the stock and the volume discharged from the dam during the two months of February and March 2015. The second part is a processing of Landsat 8-OLI-TIRS images downloaded from the USGS Global Visualization.

Generally the OLI requirements specified a sensor that collects image data for nine spectral bands with a spatial resolution of 30m over a 185km swath from the nominal 705 km LDCM spacecraft altitude [6]. Landsat 8 contains two sensors: Operational Land Imager (OLI) with 3 new bands (deep blue band for coastal, shortwave infrared band, and a quality assessment band) and thermal Infrared Sensor (TIRS) with 2 thermal bands. This mehod was implemented using the OLI-TIRS sensor and three scenes on three dates were found available for tracking changes in land use in the study zone following the rainfall episode in February-March 2015 (Table 2).

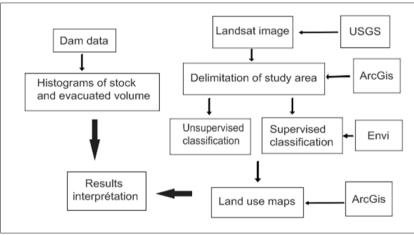


Fig.2: Flow chart for presented method

Table 2: available Landsat scenes covering study area

Date	Cloud cover	Quality	Sensor
13rd January 2015	.19	9	OLI-TIRS
18th March 2015	.04	9	OLI-TIRS
Tour Planci 2015	.04	7	OLI-TIK3
03rd April 2015	.42	9	OLI-TIRS

The development of land cover maps was made through the classification of satellite images under the Envi software. The classification is developing a process map interpretation from remote sensing images. There are two general approaches to image classification: supervised and unsupervised. They differ in the manner in which the classification is performed. In the case of unsupervised classification, the goal is to classify all pixels in an image from a sample of drive zones. Each land use class has a spectral signature of its own. The Envi software defines specific types of soil occupation based on a statistical characterization data drawn from examples in the image (training sites). K-means defined by McQueen [12]. is one of the simplest automatic data classification algorithms. The main idea is to randomly select a set of a priori fixed centers and searching iteratively the optimum partition [13] Equation (1):

Essamin et al./ IISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 112-122

$$\sum_{i=1}^{k} \sum_{xj \in Ci} d(xj, Ci)$$
 (I)

Set of 'n' data denoted 'x', Desired number of groups written 'k', A partition of 'k 'groups (C1, C2, ... Ck) [13]. We will conduct an unsupervised classification of the previously created image using the K-means algorithm and the Classification Module Unsupervised K-means. The method of K-means is a method of geometric classification well adapted to the vector spaces of large dimension. It is also regularly used to perform unsupervised classification of multispectral images [14]. The K-means algorithm tries to find the most representative centroid data space since iteratively group pixels in the nearest class with a minimum of technique. Each iteration recalculates the average new classes and reclassifies pixels from these new means. This process continues until the number of pixels in each class varies from less the selected shift threshold or the maximum number of iterations is reached [14]. (Figure 3).

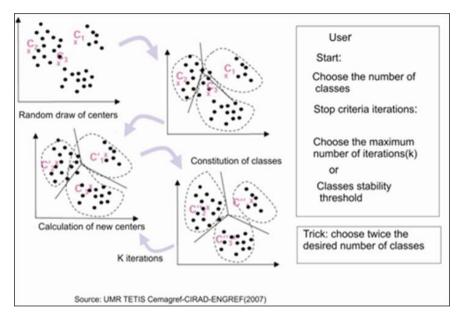


Fig.3: Principle of K-means

In the case of supervised classification, the user will guide the software by providing thematic or spatial order information. This type of classification therefore requires a minimum of knowledge about the study area. The thematic parameters entered by the user can be, for example, radiometric intervals that were identified in the study area (eg between 0 and 25 = pure water in the infrared). The spatial parameters are for example polygons drawn on the image (a wheat field, a coniferous parcel, an urban area, ...) that will serve as the standard of software.

#### **RÉSULTATS ET DISCUSSION**

#### Histograms of stock and evacuated volume evolution in Sidi Salem dam

the histogram of the water stock evolution at Sidi Salem dam (Figure 4) during the month of February 2015 shows a general trend towards increasing:

- From 01st to 08th February, we have an increase in the stock at the dam to reach 537.662 million m3.
- From 08th to 24th February, the stock at the dam remain almost constant.
- On 25th February, the stock rise again to reach the last day of the month 666.506 million m3 corresponding to the most important water volume during the month of February.

Essamin et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 112-122

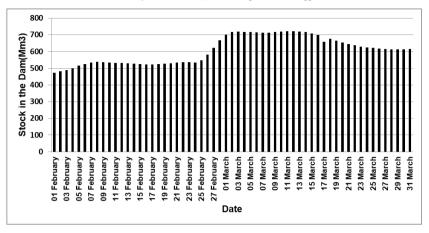


Fig. 4: Histogram of Stock in the Sidi Salem dam during February- March 2015

Major releases have been made during February taking into account the water level in the Sidi Salem Dam and its storage capacity. These releases were recorded on 02nd, 10th and 24th February but the larger was at the end of the month with 13.22 million m3 on February 28th (Figure 5).

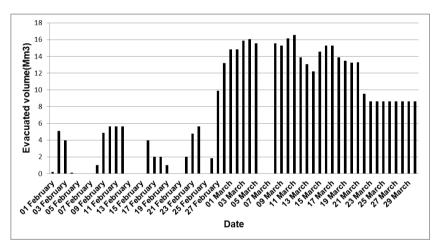


Fig. 5: Histogram of the evacuated volume from Sidi Salem dam during February- March 2015.

The water level in the 1st March was 116 mGTL with a stock of 700.797 million m³, until March 14th they remain almost constant. After they start to decline towards the end of the month to reach 114.51 million m³ and 615.915 mGTL respectively. It's noteworthy that in March the most important releases were made at the dam Sidi Salem with water volumes of 6.318 to 16.56 million m³.

During the two months of February and March, the stock in the dam rose to 142.464 million  $m^3$  and the water level of 2.91 mGTL.

From the table of ribs and reference volumes published by DGBGTH (Table 3), the water in the Sidi Salem dam was under the level of operations during the period from 01st to 26th February 2015. On 27th February it reached 114.84 mGTL to increase until 116.36 mGTL the 11/03 with a stock of 722.255 million m3. This required evacuation of a volume of 16.56 Mm3 the same day to stabilize the water level in the dam to a volume of operations on 31/03, the total volume evacuated in February and March 2015 was 501.273 million m<sup>3</sup>.

Essamin et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 112-122

Table3: Ribs and volumes of reference (DGBGTH)

Ribs (m GTL)	Description	Volume (Mm3)	Security
122	upper level of the dam		
118,5	Highest Waters	900	Spillage of the tulip,, bottom outlet and tower outlet
	operating level		150 Mm3 safety mattress
114		500	before the operation of the tulip
113	Uncontrolled spill	840	Spillage of the tulip
			flood spillway.
112,5	exceptional level	1100	

## Shape of Sidi Salem dam

The unsupervised classification shows a change of the area occupied by water from the Sidi Salem dam (Figures 6,7 and 8). On 18th March, the flooded area is multiplied by a factor of 150% it goes from 3.900.150  $m^2$  on 13rd January to 6.133.050  $m^2$  (Table 4). On April 03rd, the area of the water reservoir of the dam decreases strongly following the releases made at the end of March and reaches 530,019  $m^2$ .

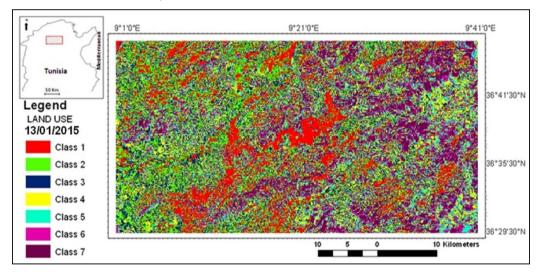


Fig. 6: Unsupervised classification of Sidi Salem dam on 13/01/2015

Essamin et al./ IISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 112-122

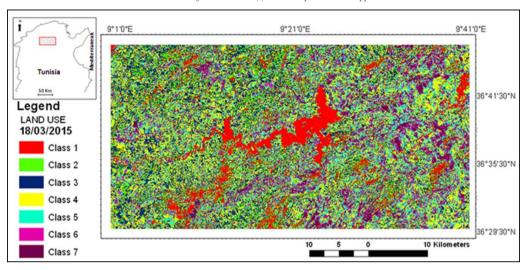


Fig. 7: Unsupervised classification of Sidi Salem dam on 18/03/2015

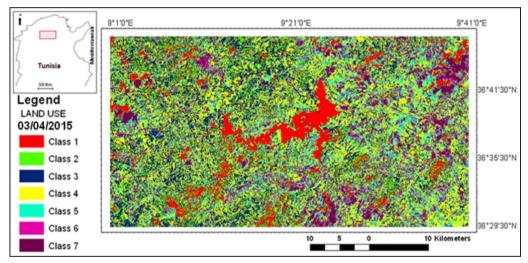


Fig. 8: Unsupervised classification of Sidi Salem dam on 03/04/2015

Supervised classification at the Sidi Salem dam in the three dates, 13rd January, 18th March and 03rd April, shows (Figures 9,10 and 11):

On January 18th, the water level in the dam was lower than in March, at its periphery, we observe the rockfill that behave like urban areas (same spectral signature), they appear in red on the land use map. These stones are covered with water on March 18th following the increase of the water level in the dam and they have the same color as the wadi on the land use map (cyan) where the depth of water is lower than in the center of the dam.

The overflow of Wadi Mejerda in the northeast of Mejez El bab city is clear on the land use map of March 18th and it disappears in April 3rd.

In April 3rd, the area occupied by bare land rises above the towers of Sidi Salem dam which could be associated with the releases that were performed from 19 to 31st March of almost 70 million m3 of water. The emergence of new urban areas in March and April is due to the cloud cover which has the same spectral signature of the urban area.

## ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Issue 1 – September 2020

Essamin et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 112-122

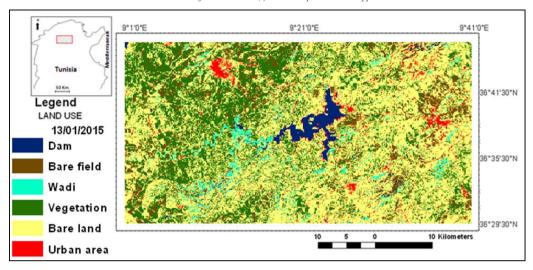


Fig. 9: Land cover map of Sidi Salem dam on 13/01/2015

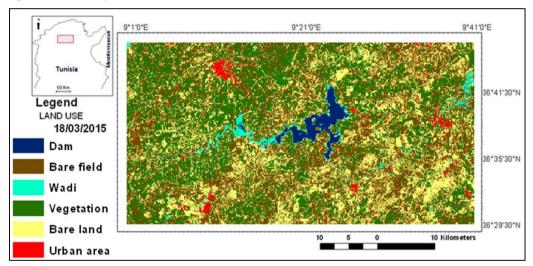


Fig. 10: Land cover map of Sidi Salem dam on 18/03/2015

## Essamin et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 112-122

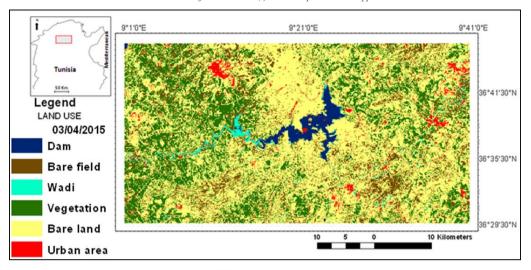


Fig.11: Land cover map of Sidi Salem dam on 03/04/2015

## **Bousalem region**

The land use maps of Bousalem region and its surroundings (Figures 12, 13 and 14) show changes of land use after the rainy period from February 21st to March 16th 2015:

In January 13rd, dense vegetation occupies the banks of wadis Mejerda, Tessa and Bouhertma. In March 18th, the vegetation is degraded due to flooding and overflow of the banks of wadis and surrounding lands are invaded by mud and behave as bare land on land use maps. Entire roads and few urban areas north of Bousalem city disappeared. The roads south of the city C60 and C75 are destroyed and they are covered by sediments carried by the flood during the rainy period from February 21st to March 16th 2015.

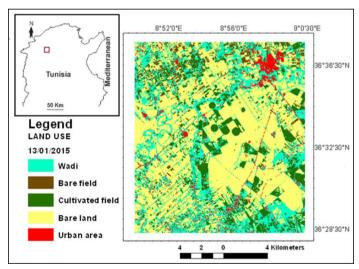


Fig.12:Land cover map of Bousalem city on 13/01/2015

## Essamin et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 112-122

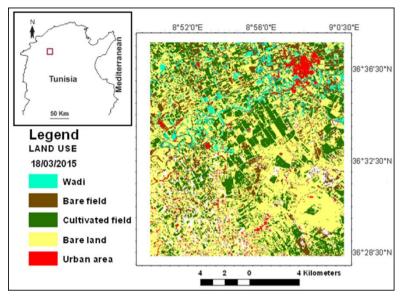


Fig.13: Land cover map of Bousalem city on 18/03/2015

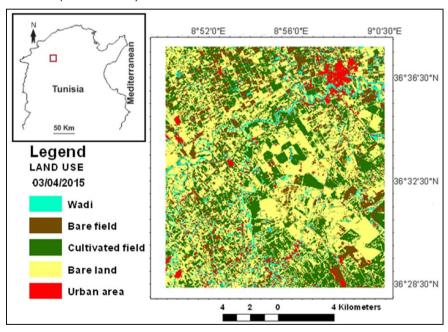


Fig.14: Land cover map of Bousalem city on 03/04/2015

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Issue 1 - September 2020

Essamin et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 112-122

## CONCLUSION

Flooding of Wadi Medjerda during February and March 2015 have largely affected the vicinity of Sidi Salem Dam and Bousalem city.

The land use maps obtained by the two types of classification; supervised and unsupervised show that the releases from the dam during the month of March with a volume of 394,184 million m3 had significant impacts on the region. On March 18th the area occupied by water in the dam has increased by a foctor of 150% their in January 13rd and requiring successive evacuations, caused flooding around the dam where land were covered by sediments carried by the river and in the city of Bousalem including urban areas and roads (C60 and C75) were buried under mud due to overflows of tributaries Tessa and Bouhertma.

**Funding:** This work has received financial support from the LabEx DynamiTe (ANR-II-LABX-0046), as part of the "Investissements d'Avenir" program.

#### Références

- [1] Hewitt K. and Burton I., 1971. The hazardonsness of a place : a regional geology of damaging events. University of Toronto, dept of geography research publication 5, p. 154.
- [2] Ejenma E., Sunday V.N., Okeke O., Eluwah A.N. and Onwuchekwa I.S., 2014. Mapping flood vulnerability arising from land use/land covers Change along river Kaduna, Kaduna State, Nigeria. IOSR Journal of humanities and social science(IOSR-JHSS), pp. 155-160.
- [3] Fehri N., 2014. L'aggravation du risque d'inondation en Tunisie : éléments de réflexion, Géographie Physique et Environnement, pp. 149-175.
- [4] Daoud A., Jemmal K., Goguel B., Leclerc S., 2009. Combining gated spillway and flood damping, Sidi Salem dam in Tunisia. Colloque CFBR-SHF: «Dimensionnement et fonctionnement des évacuateurs de crues», 20-21 janvier 2009, Lyon. p3.
- [5] Claude J., Francillon G., and Loyer J.Y., 1977. Les alluvions déposées par l'oued Medjerda lors de la crue exceptionnelle de mars 1973 . Cah. ORSTOM, sér. Hydro. Vol. XIV, no 11 1977, p 46.
- [6] Tamta K. and Bhadauria H.S., 2015. Object-Oriented Approach of Landsat Imagery for Flood Mapping. International Journal of Computer Applications (0975-8887) Volume 122-No.16. pp. 6-9.
- [7] Ojigi M.C and Shaba A.H, 2012. Integration of Synthetic Aperture Radar(SAR) imagery and Digital Terrain Model for determining flood water threshold in Skoto and environs, Nigeria. Proceedings of the Geo-information society of Nigeria and Nigerian Cartographic Association(NCA) joint annual workshop/conference held at Regional Centre for Training in Aerospace Surveys(RECTAS) Obafemi Awolowo University, Ile Ife, 19th-22nd Nov. 2012.pp 291-303.
- [8] Anil, N.C., and Jaishankar, G., 2011, Studies on land use/land cover and change detection from parts of South West Godavari District, A.P Using Remote Sensing and GIS Techniques, J. Ind. Geophysics Union, Vol. 14, No.4, pp.180-190
- [9] Tamta K. and Bhadauria H.S., 2015. Object-Oriented Approach of Landsat Imagery for Flood Mapping. International Journal of Computer Applications (0975-8887) Volume 122-No.16. pp, 6-9.
- [10] Zahar Y., Ghorbel A. and Albergel J., 2008. Impacts of large dams on downstream flow conditions of rivers: Aggradation and reduction of the Medjerda channel capacity downstream of the Sidi Salem dam (Tunisia). Journal of Hydrology 351, pp.318–330.
- [11] Soualmia A. and Gharbi M., 2013. Tests de simulations des crues éclair dans le bassin versant de la Medjerda (Tunisie), Lebanese Science Journal, Vol 15, No.2, p14.
- [12] Celeux G., Diday E., Govaert G., Lechevallier Y., Ralambondrainy, H. (1989): Classification Automatique des Données, Environnement statistique et informatique, Bordas, Paris
- [13] Guellil Z., and Zaoui L., 2008. Proposition d'une solution au problème d'initialisation cas du K-means. Université des sciences et de la technologie d'Oran MB, Université Mohamed Boudiaf USTO -BP 1505 El Mnaouer-ORAN– Algérie, p3.
- [14] OSS, Observatoire du sahara et du Sahel.REPSAHEL,Amélioration de la Résilience des Populations Sahéliennes aux Mutations Environnementales.Cartographie de l'occupation du sol Guide Pratique.p28.

H. Djan'na Koubodana, Julien Adounkpe, Kossi Atchonouglo; Komi Agboka, Koffi Djaman,

Kossi Komi, Dambré Koungbanane

Assessing Water Balance Components Contribution Variation in the Mono River Basin, West Africa

International Journal Water Sciences and Environment Technologies

Vol. (v), No. 2, September 2020, pp.123-130

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



# Assessing Water Balance Components Contribution Variation in the Mono River Basin, West Africa

H. Djan'na Koubodana<sup>1,2</sup>, Julien Adounkpe<sup>1</sup>, Kossi Atchonouglo<sup>2</sup>; Komi Agboka<sup>3</sup>, Koffi Djaman<sup>4</sup>, Kossi Komi<sup>5</sup>, Dambré Koungbanane<sup>6,7</sup>

## **Abstract**

This study has investigated and compared the contribution of water balance components over the period before Nangbeto dam installation (1964-1986) and the period after the same dam installation (1988-2010). The datas were mainly water balance component outputs generated from calibrated Soil and Water Assessment Tool over the two periods in the Mono river basin. The results showed that mean monthly actual evapotranspiration, percolation, water yield, surface runoff, groundwater and lateral flow represent 51.05%; 17.53%; 15.93%; 9.43%; 5.67% and 0.42% respectively of total water balance between 1964 and 1986 whereas between 1988 and 2010 the same components represent 51.02%; 9.17%; 20.43%; 6.30%; 10.56% and 2.59% respectively. The contribution of these water balance components during mean annual scale between 1964 and 1986 are actual evapotranspiration (31.33%), water yield (25.95%), percolation (17.67%), groundwater (14.71%), surface runoff (9.94%) and lateral flow (0.40%) while between 1988 and 2010, actual evapotranspiration (49.85%), water yield (19.97%), percolation (11.17%), groundwater (10.34%), surface runoff (6.15%) and lateral flow (2.52%). The peak of actual evapotranspiration, surface runoff, percolation and water yield appear in September corresponding to one month after the maximum of rainfall. The study suggested that land cover change and climate variability have repercussion on water balance components change between 1964-1986 and 1988-2010 over the river basin.

Key Words: Water balance components, land use, climate variability, dam management, streamflow, Mono river basin.

# Évaluation de la variation temporelle des composantes du bilan hydrologique dans le bassin du fleuve Mono, Afrique de l'Ouest

#### Résumé

Cette étude a comparé la contribution des composants du bilan hydrologique sur la période précédant l'installation du barrage de Nangbéto(1964-1986) et la période suivant l'installation du meme barrage (1988-2010) du bassin du fleuve Mono en Afrique de l'Ouest. Les données utilisées sont principalement des sorties de composantes de bilan hydrologique générées à partir d'un outil d'évaluation des sols et de l'eau étalonné et validé dans le bassin du fleuve Mono. Les résultats ont montré que mensuellement, l'évapotranspiration réelle moyenne, la percolation, l'apport en eau, le ruissellement de surface, les eaux souterraines et le débit latéral représentent 51,05%; 17,53%; 15,93%; 9,43%; 5,67% et 0,42% respectivement du bilan hydrologique total entre 1964 et 1986 alors qu'entre 1988 et 2010 les mêmes composantes représentent 51,02%; 9,17%; 20,43%; 6,30%; 10,56% et 2,59% respectivement. L'apport de ces composantes du bilan hydrologique à l'échelle annuelle moyenne entre 1964 et 1986 est l'évapotranspiration réelle (31,33%), l'apport d'eau (25,95%), la percolation (17,67%), les eaux souterraines (14,71%), le ruissellement de surface (9,94%) et latéral débit (0,40%) alors qu'entre 1988 et 2010, évapotranspiration réelle représente (49,85%), apport en eau (19,97%), percolation (11,17%), eau souterraine (10,34%), ruissellement de surface (6,15%) et débit latéral (2,52%). Le pic de l'évapotranspiration, du ruissellement de surface, de la percolation et de l'apport en eau réels apparaît en septembre, correspondant à un mois après le maximum de précipitations. L'étude suggère que le changement de la couverture terrestre et la variabilité du climat ont des répercussions sur les variations des composantes du bilan hydrologique dans le bassin.

Mots clés: Composantes du bilan hydrologique, utilisation des terres, variabilité climatique, gestion des barrages, débit des cours d'eau, bassin du fleuve Mono

Page 123

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>West Africa Science Service Centre on Climate change and Adapted Land Use, WASCAL-Climate Change and Water Resources, University of Abomey Calavi, 03 PO Box 526 Cotonou, Benin;

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Faculté Des Sciences, Université de Lomé, B:P 1515 Lomé, Togo;

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>West Africa Science Service Centre on Climate change and Adapted Land Use, WASCAL-Climate Change and Disease Risk Management, University of Lomé, 01 PO Box 1515 Lomé, Togo;

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Department of Plant and Environmental Sciences, Agricultural Science Center at Farmington, New Mexico State University, P.O.Box 1018, Farmington, NM 87499, USA

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>Laboratoire de Recherche sur les Espaces, les Échanges et la Sécurité Humaine (LaREESH), Département de Géographie, Université de Lomé, BP:1515, Lomé-Togo

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>Centre d'Excellence Africain sur les Changements Climatiques, la Biodiversité et Agriculture Durable (CEA-CCBAD), Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup>Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Etudes Environnementales, Département de Géographie, Université de Lomé, BP 1515 Lomé, Togo

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: koubodana.d@edu.wascal.org

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Issue 2 - December 2020

Koubodanaet al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 123-130

#### INTRODUCTION

Water resource management is becoming more and more important due to climate change (CC) impacts. CC is resulting from anthropogenic and natural effects (IPCC, 2014; Koubodana, 2015). Water is a source of sustainable and economic developments because it assures safe and supply of the basics resource in a society and ecosystems. Water resource is related to different sectors of activities such as agriculture, industry, domestic water use and sanitation, hydropower generation, health and environmental security (Hanjra and Qureshi, 2010). Among these sectors, agriculture is the largest use of water followed by hydropower dam for electricity generation and agricultural land irrigation. The effects of CC can be seen in water like pollution and river hydrology system modification at the downstream of the reservoir. For instance, dam installation can involve flood at the downstream. These entire domains showed that in water resource management many researchers are mostly dealing with a complex system determined by several interactions between natural, socioeconomic and political issues (PCCP, 2008) and elements. Today many challenges that research face are water increase demand vs. water scarcity, water pollution, flood and drought. As proved during IPPC, 2014 global climate change; demographic and economic changes will be more feeling in particular region like tropic and sub-tropical regions of the World. In much case climate variability and human activities are two major driving factors in hydrological processes and spatial-temporal distribution of water availability. In order to give sustainable and adequate solutions on water resource pressed by above cited factors, there is a need to assess water balance components variation over the basin in order to propose somes solutions.

Many studies have been done over Mono river basin particulary on social vulnerability of flood, flood disaster risk mapping, simulation of high streamflow (Amoussou et al.,2014; Kissi et al.,2015) They concluded that the source of high streamflow is not only due to climate change but also to the regulation of the Nangbéto dam, land use and the social factors of the communities living in the catchment. Recently, (Koubodana et al., 2020a) have successfully run SWAT semi- distributed model to assess streamflow change under the combined impacts of land cover and climate variability for the upstream-downstream stations of the reservoir and for the period before dam installation (1964-1986) and for the period after dam installation (1988-2010). The authors suggested that land cover changes impacts on streamflow and probably on the others water balance components which need to be investigated individually in the catchment which need to be investigated individually. Therefore, the objective of the study is to investigate the temporal variation of water balance components over two sub-periods of a calibrated and validated SWAT model outputs over the basin.

## **MATERIALS AND METHODS**

## Study Area

The study area is Mono River Basin (MRB) in West Africa. It is a main river in Togo, which is shared with Benin country in its last kilometers in the south. This river is located between 06°16' and 9°20'Northern latitude and 0° 42'and 1° 40' Eastern longitude (Figure 1). With a perimeter of 872, 092 km, the basin covers til Athiéme an area of 22,013.14 km² and with 88% of it area in Togo country and the rest (12%) in Benin (PCCP, 2008). It length of 308.773 km, MRB has it source in Alédjo mountains in north of Benin before throwing in Atlantic Ocean by the lagoon system. The elevation of the basin is range from 12 to 948 m (<a href="http://srtm.csi.cgiar.org">http://srtm.csi.cgiar.org</a>). The watershed shelters the biggest dam of Nangbéto that produce 20% of total hydroelectricity used by the two countries. A second dam of project Adjarala is building on this same river to reduce the problem of electricity of these countries.

The climate is a sub-equatorial climate from 0 to 8°N and with two rainy seasons and two dry seasons. It totals 1200 to 1500 mm/year in the mountainous area of the South-West and only, 800 to 1000 mm/ year on the coastal zone. From 8 to 10°N the climate is tropical humid with one rainy season and one dry season (1000 to 1200mm/year). In the winter months (December to March), there is an anti-cyclonic high-pressure area centered over the Sahara. It drives the Harmattan, a desiccating, dusty wind that blows rather persistently from the northeast, drying out landscapes all the way to the coast (Arbonnier, 2000). However, the hydrograph has one peak that indicates that river discharge is mostly controlled by upstream tributaries. The mean annual temperature ranges from 22°C to 30°C and precipitation varies between 800mm and 1300 mm/year (CILSS, 2016; Speth et al., 2010). Precipitation usually reaches the peaks in May-June and September-October months.

Human activities in the MRB mainly include land use change, the construction the hydroelectricity dam, irrigation activities in the downstream, water withdrawal for population growth, agricultural development and industrial. The rivers shelter the most important reservoir of Nangbéto Dam (Rossi, 1996).

Koubodanaet al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 123-130

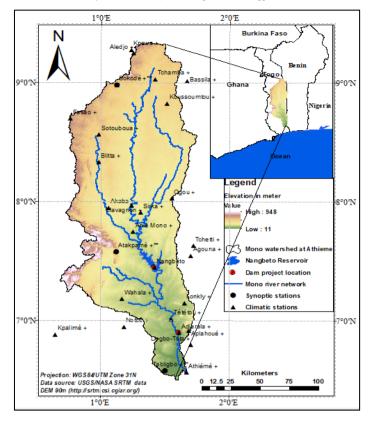


Figure 1: Study Area

#### Data

## Water balance components datasets

The datasets are used in this analysis are the outputs generated by SWAT model from (Koubodana et al., 2020a). The water balance components considered were Precipitation (PCP), actual evapotranspiration (ET), percolation (PERC), surface runoff (SURQ), and groundwater flow (GW Q), water yield (WYLD) and lateral flow (LAT Q) and were extracted in the calibrated SWAT model of the two period. The values are at daily time step and for each sub basin or reach point between 1964 and 1986 and from 1988 to 2011. The watershed was divided automatically into 24 sub-basins for the first period of simulation (1964-1986) and 23 for the second period (1986-2011). This resulted in an automatic subdivision of109 hydrologic response units (HRUs) (1964-1986) and 111 HRUs (1986-2011) based on the same soil, land use, and slope (Arnold et al., 1998).

#### Methods

## Water balances components temporal contribution

The main water balance components extracted were used to compute the average monthly and mean annual contribution over the whole catchment. Using SWAT Output Viewer (https://swatviewer.com/) it is possible to extract for each water balance component the contribution at mean monthly and annual scale. We have computed mean annual and mean monthly of each water balance components contribution considered over the first period of simulation (1964-1986) and second period of simulation (1988-2010). Therefore, the mean annual and monthly water balance component contributions were used to show the percentage of each water balance components at annual and monthly scale using radars and sectors in excel.

Koubodanaet al./ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 123-130

#### **RESULTS AND DISCUSSION**

## Water balance components contribution between 1964 and 1986

Figure 2a-b and Figure 3a-b display the mean inter-annual and intra-annual (seasonal) variability of water balance components. The most important component of water balance selected are precipitation, evapotranspiration, percolation, groundwater, surface runoff, water yield, lateral flow (Begou et al., 2016; Obuobie et al., 2010).

The reported average annual values over MRB of water balance component appearance in (Koubodana et al., 2020a) and maps in Figure 2b show that actual evapotranspiration (31.33%) and water yield (25.95%) have more than 50% of the total average annual water cycle component between 1964 and 1986. The high actual evapotranspiration rate can be explained by the type of land cover and the high temperature in the study area. Lateral flow contribution is the lowest (0.40%) process occurring in the study area in annual average (Figure 2b). The total water yield is the net amount of water that leaves the basin and contributes to streamflow annually is important after evapotranspiration in the basin. The mean water that percolates past the root zone during annually as percolation represents 17.67%; groundwater contribution to streamflow is 14.71% and surface runoff is about 9.94% annually.

Inter-annual average value of water components presented in Figure 2a the variability of these components for each year. Indeed, lateral flow contribution is very low for during each year whereas the others components such as actual evapotranspiration, water yield, percolation, groundwater and surface runoff decrease respectively. During the year of 1968, 1978 and 1980 the annual contribution of water yield is higher that actual evapotranspiration. There are high values of surface runoff in the year 1968, 1979 and 1980 while maximum actual evapotranspiration is observed in 1967, 1975, 1978 and 1984. The same year of high evapotranspiration were also known to have negative annual rainfall variability index (Koubodana et al., 2020b). The change in water cycle components from year to year are due to the variation of climate condition such as temperature, relative humidity and surface land condition which have impacts on any watershed hydrological system (Badjana et al., 2017; Golmohammadi et al., 2014).

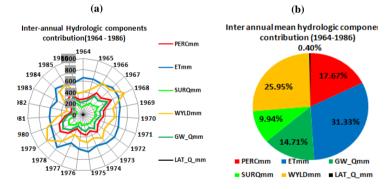


Figure 2: Inter-annual variability of hydrological components between 1964 and 1986 with land use map of 1975

An intra annual mean of water cycle components and the graphs of the temporal changes are observed in Figure 3a&b. It appears that actual evapotranspiration has 51.02% of the global while percolation, water yield, surface runoff, groundwater and lateral flow represent respectively 17.53%, 15.93%, 9.43%; 5.67% and 0.42% of total. The peak of actual evapotranspiration, surface runoff, percolation and water yield are obtained in September and corresponding to the maximum of rainfall which coincides with the rainy season in the region. The lateral flow which depends specifically of the slope of the basin is not important and could be explained the elevation range in the basin. Seasonally, in Figure 3a the maximum of rainfall is ranged from May to October and represent 51.02% of the water balance components.

Koubodanaet al./ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 123-130

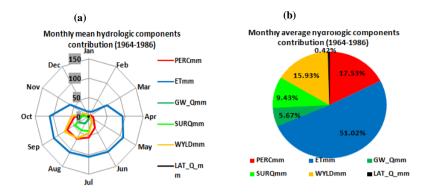


Figure 3: Intra-annual variability of hydrological component between 1964 and 1986 with land use map of 1975

## Water balance components contribution between 1988 and 2010

(a)

Figure 4a&b and Figure 5a&b show the inter-annual and intra-annual evolution of water balance components over MRB. The maximum runoff value is displayed in 1991, 1993, 1997, 1999, 2002, 2005 and 2009.

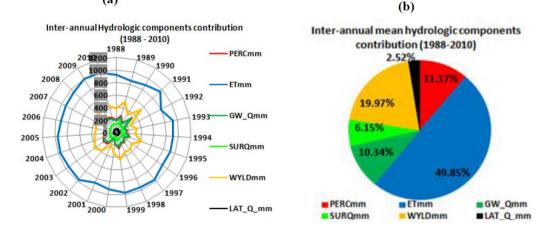


Figure 4: Inter-annual variability of hydrological component between 1988 and 2010 with land use map of 2000

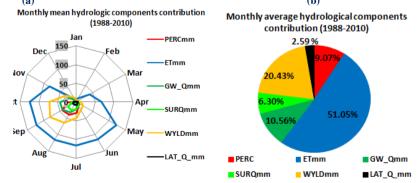


Figure 5: Intra-annual variability of hydrological component between 1988 and 2010 with land use map of 2000

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Issue 2 - December 2020

Koubodanaet al./ IISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 123-130

The percentages of each water cycle components for inter-annual and intra-annual scale are actual evapotranspiration (49.85%), water yield (19.97%), percolation (11.17%), groundwater (10.34%), surface runoff (6.15%) and lateral flow (2.52%). Consequently, actual evapotranspiration and water yield components represent more than 60% of the total. The average actual evapotranspiration between 1988 and 2010 is around 900mm/year. Annual mean percolation and groundwater have similar to high value displayed in 1991, 1995, 1999, 2003 and 2008.

By comparison of inter-annual components in the second simulation, there is an increase of actual evapotranspiration and lateral flow whereas a decrease of water yield, surface runoff groundwater and percolation were observed. In contrary to the intra-annually observations there is decrease of percolation, surface runoff and increase of groundwater, lateral flow and actual evapotranspiration.

For water management strategy planning, analysis of individual water balance component contribution at temporal and spatial scales is required. Sathian and Symala (2009) indicate that precipitation, actual evapotranspiration, percolation, groundwater, surface runoff, water yield and lateral flow are the most important components of water balance in a watershed. Within these components, precipitation is an input variable in hydrological models and the others need to be predicted because of inexistent observation data (Ghoraba, 2015). Actual evapotranspiration and water yield components contribution are important over the two periods of inter-annual and intra-annual scales as displayed in Figure 2, Figure 3, Figure 4 and Figure 5. Actual evapotranspiration is the highest amount of water loss by the watershed in annual and monthly mean scale. The high amount of actual evapotranspiration can be explained by the various type of vegetation and also by the increase of temperature in the study area (Koubodana et al., 2019b; Lawin et al., 2019). Meanwhile, it is important to note that actual evapotranspiration has increased from 31.33% (1964-1986) to 49.85% (1988-2010) in inter-annual time scale and from 51.02% (1964-1986) to 51.05% (1988-2010) for intra-annual period.

This increase of water actual evapotranspiration from the pre-dam period to post-dam installation period is due to the increasing  $CO_2$  concentrations in the atmosphere, land-use and land cover changes or decreasing wind speed (Koubodana et al., 2020b, 2019). The second major water component is water yield which is net amount of water that leaves the subbasin or the basin and contributes to streamflow in the reach during the time step. It is computed as WYLD = SURQ + LATQ + GWQ - TLOSS - pond abstractions. Therefore, an important amount of precipitation percentage received by the watershed of all case is lost as streamflow. The amount percentage is ranging from 0.40% (1964-1986) to 2.52% (1988-2010). According to Figure 2b and Figure 4b, water yield decreases from 25.95% between 1964 and 1986 to 19.97% between 1988 and 2010 at inter-annual scale whereas Figure 3b and Figure 5b show in intra-annually the amount has decreased from 15.93% (1964-1986) to 20.43% (1988-2010). Lateral flow is the lowest (1988-2010) for inter-annual average and from 0.42% (1964-1986) to 2.59% (1988-2010) for intra-annual average. This can be due to the low infiltration rate and also that lateral flow depends on the watershed local slope (Cornelissen et al., 2013) which is not uniform in the basin and ranges from 12 to 948m.

The results of water cycle components contribution confirmed most analysis performed in West Africa (Akpovi et al., 2016; Awotwi et al., 2015; Begou, 2016; Hounkpè, 2016). Over inter-annual analysis of the two sub-periods, many years are associated with high and low contribution of surface runoff compared to the average over the period. For example 1968, 1979, 1980, 1995, 1999 and 2003 runoff contribution is higher and with positive rainfall index (Koubodana et al., 2019b). The years of 1977, 1982, 1983, 1986, 1990 and 2002 present the period with lowest surface runoff and associated with negative rainfall variability index in section 5.2 and confirmed the years of drought in West Africa (Koubodana et al., 2019b; Oguntunde et al., 2006; Yabi and Afouda, 2012).

## CONCLUSION

The analysis of water balance component contribution variation over Mono riber basin indicated that its changes depend of the period of SWAT model simulation. At seasonnal sacle actual evapotranspiration, percolation, water yield represented more than 75% of total water balance between 1964 and 1986 and between 1988 and 2010. The contribution of these water balance components at annual mean scale between 1964 and 1986 are actual evapotranspiration (31.33%), water yield (25.95%), percolation (17.67%), groundwater (14.71%), surface runoff (9.94%) and lateral flow (0.40%) while between 1988 and 2010, actual evapotranspiration (49.85%), water yield (19.97%), percolation (11.17%), groundwater (10.34%), surface runoff (6.15%) and lateral flow (2.52%). The peak of actual evapotranspiration, surface runoff, percolation and water yield appear in September corresponding to one month after the maximum of rainfall and while the periode of flooding and drought are represented by high of low surface runoff in the baisn. These results are important in order to support policies, decision-making and relevant authorities for a sustainable water resource management at watershed level.

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Issue 2 - December 2020

Koubodanaet al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 123-130

**Acknowledgments:** Authors like to thank the German Ministry of Education and Research (BMBF) for their financial through the West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land use (WASCAL) and the Graduated Research Programme on Climate Change and Water Resources at the University of Abomey Calavi Benin.

### References

- Akpovi, K., Antwi, E.O., Kabo-bah, A., 2016. Impacts of Rainfall Variability, Land Use and Land Cover Change on Stream Flow of the Black Volta. Hydrology 3, 1–24. https://doi.org/10.3390/hydrology3030026
- Amoussou, E., Tramblay, Y., Totin, H.S. V, Mahé, G., Camberlin, P., 2014. Dynamique et modélisation des crues dans le bassin du Mono à Nangbéto (Togo / Bénin). Hydrol. Sci. J. 59, 2060–2071. https://doi.org/10.1080/02626667.2013.871015
- Arbonnier, M., 2000. Arbres, Arbustes et Lianes des Zones Sfleches d'Afrique de l'Ouest, vol. 2. Edition CIRAD-MNHN-UICN, Montpellier, France.
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., Arnold, J.G., Bednarz, S.T., Srinivasan, R., 1998. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part 1: Model Development. J. Am. Water Resour. Assoc. 34, 73–89. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x
- Awotwi, A., Kumi, M., Jansson, P.E., Yeboah, F., Nti, I.K., 2015. Predicting Hydrological Response to Climate Change in the White Volta Catchment, West Africa. Earth Sci. Clim. Chang. 6, 1–7. https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000249
- Badjana, H.M., Fink, M., Helmschrot, J., Diekkrüger, B., Kralisch, S., Afouda, A.A., Wala, K., 2017. Hydrological system analysis and modelling of the Kara River basin (West Africa) using a lumped metric conceptual model. Hydrol. Sci. J. 62, 1094–1113. https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1307571
- Begou, J.C., 2016. Hydrological Modeling of the Bani Basin in West Africa: Uncertainties and Parameters Regionalization. PhD of Graduate Research Program on Climate Change and Water Resources (GRP-CCWR) of the University of Abomey-Calavi (Benin Republic), Public defense on: 26/10/2016.
- Begou, J.C., Jomaa, S., Benabdallah, S., Bazie, P., Afouda, A., Rode, M., 2016. Multi-Site Validation of the SWAT Model on the Bani Catchment: Model Performance and Predictive Uncertainty. Water (Switzerland) 8, I–23. https://doi.org/10.3390/w8050178
- CILSS, 2016. Landscapes of West Africa- A Window on a Changing World. 47914 252nd St, Garretson, SD 57030, UNITED STATES.
- Cornelissen, T., Diekkrüger, B., Giertz, S., 2013. A comparison of hydrological models for assessing the impact of land use and climate change on discharge in a tropical catchment. J. Hydrol. 498, 221–236. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.016
- Ghoraba, S.M., 2015. Hydrological modeling of the Simly Dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model. Alexandria Eng. J. 54, 583–594. https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.05.018
- Golmohammadi, G., Prasher, S., Madani, A., Rudra, R., 2014. Evaluating Three Hydrological Distributed Watershed Models: MIKE-SHE, APEX, SWAT. Hydrology 1, 20–39. https://doi.org/10.3390/hydrology1010020
- Hanjra, M.A., Qureshi, M.E., 2010. Global water crisis and future food security in an era of climate change. Food Policy 35, 365–377. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.05.006
- Hounkpè, J., 2016. Assessing the climate and land use changes impacts on flood hazard in Ouémé River Basin, Benin (West Africa). Doctor of Philosophy (Ph.D) thesis in Climate Change and Water Resources at University of Abomey Calavi (Benin Republic); Date of defense: 05 September 2016.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Technical Report. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Kissi, A.E., Abbey, G.A., Agboka, K., Egbendewe, A., 2015. Quantitative Assessment of Vulnerability to Flood Hazards in Downstream Area of Mono Basin, South-Eastern Togo: Yoto District. J. Geogr. Inf. Syst. 7, 607–619. https://doi.org/10.4236/jgis.2015.76049
- Koubodana, H.D., 2015. Mecanismes de connexions entre les modes de varaibilités internannuelle equatorial et meridien de l'Atlantique tropical. These de Master, Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA-Chaire UNESCO), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Benin, Soutenu en Octobre 2015.
- Koubodana, H.D., Adounkpe, J., Atchonouglo, K., Djaman, K., Larbi, I., 2020a. SWAT-Simulated Streamflow Response to Land Use, Climate Variability and Dam Management in the Mono River Basin, Togo-Benin, West Africa. Int. J. River Basin Manag. 52.
- Koubodana, H.D., Adounkpe, J., Tall, M., Amoussou, E., Atchonouglo, K., Mumtaz, M., 2020b. Trend Analysis of Hydroclimatic Historical Data and Future Scenarios of Climate Extreme Indices over Mono River Basin in West Africa. Am. J. Rural Dev. 8, 37–52. https://doi.org/10.12691/ajrd-8-1-5
- Koubodana, H.D., Diekkrüger, B., Näschen, K., Adounkpe, J., Atchonouglo, K., 2019. Impact of the Accuracy of Land Cover Data Sets on the Accuracy of Land Cover Change Scenarios in the Mono River Basin, Togo, West Africa. Int. J. Adv. Remote Sens. GIS 8, 3073–3095. https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.422
- Lawin, A.E., Lamboni, B., Manirakiza, C., Kamou, H., 2019. Future Extremes Temperature: Trends and Changes Assessment

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Issue 2 - December 2020

Koubodanaet al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 123-130

- over the Mono River Basin, Togo (West Africa). J. Water Resour. Prot. 11, 82–98. https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.111006
- Obuobie, E., Diekkrüger, B., Reichert, B., 2010. Use of chloride mass balance method for estimating the groundwater recharge in northeastern Ghana. Int. J. River Basin Manag. 8, 245–253. https://doi.org/10.1080/15715124.2010.505895
- Oguntunde, P.G., Friesen, J., Giesen, N. Van De, Savenije, H.H.G., 2006. Hydroclimatology of the Volta River Basin in West Africa: Trends and variability from 1901 to 2002. Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C 31, 1180–1188. https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.02.062
- PCCP, 2008. PROGRAMME PCCP -From Potential Conflict to Cooperation Potential: cas du basin du Mono (Togo-Benin). Lomé-Togo.
- Rossi, G., 1996. L'impact des barrages de la vallée du Mono (Togo-Benin). La gestion de l'incertitude. Géomorphologie Reli. Process. Environ. 2, 55–68. https://doi.org/10.3406/morfo.1996.878
- Sathian, K., Symala, P., 2009. Application of GIS integrated SWAT model for basin level water balance. Indian J. Soil Cons 37, 100–105.
- Speth, P., Christoph, M., Diekkrüger, B., 2010. Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa, Springer S. ed. Springer Heidelberg, Germany. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12957-5\_1
- Yabi, I., Afouda, F., 2012. Extreme rainfall years in Benin (West Africa). Quat. Int. 262, 39–43. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.12.010

Insaf Cherif, Taoufik Hermassi, Mohamed Mechergui

Comparing between ten regression equations to estimate rainfall erosivity using a long-term

precipitation dataset in Tunisia

International Journal Water Sciences and Environment Technologies

Vol. (v), No. 2, September 2020, pp.131-138

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



# Comparing between ten regression equations to estimate rainfall erosivity using a long-term precipitation dataset in Tunisia

Insaf Cherif<sup>1</sup>, Taoufik Hermassi<sup>2</sup>, Mohamed Mechergui<sup>3</sup>

- I Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), Tunis
- 2 Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts (INRGREF), Ariana,
- 3 Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), Tunis,

## **Abstract**

Water erosion is one of the major threats to soils in Tunisia, affecting 49% of the total area. Annually, the Tunisian water capacity storage decreases by 25 Mm<sup>3</sup> due to dam siltation. The Universal Soil Loss Equation (USLE) is a powerful tool that is widely used by scientists in many countries to provide estimates of soil loss and sediment yields from specified land surface areas. Rainfall erosivity is one of the five factors considered in the USLE to quantify the climate effect on the soil loss rate. This paper analyses and compares rainfall erosivity values that were compiled with ten different regression equations using the annual precipitation and the Modified Fournier Index (MFI). Those equations were applied on 55 stations in Tunisia and using 115 years of data. The results showed that the equations developed by Bolinne et al., overestimate the rainfall erosivity. In contrary, the Renard&Freimun and the Yu &Rossewell equations underestimate the rainfall erosivity. In the other hand the Apaydinthe Irvem and Belaid equations can be highly dependent on the rainfall amount and the Modified Fournier Index (MFI) values. The Roose and Arnoldus SI and Ferro equations provide statistically equivalent erosivity values to those that were computed using 130. On average, the difference in the erosivity estimates using those equations are 22% and 18% and 15% respectively. The Rango& Arnoldus SI equation provides the closer erosivity values to those computed using Wischmeier equation with a 2% difference on average. The Arnoldus SI equation provides the most statistically equivalent values for all the sites with a linear regression and an R2of 0.98. Based on those results, the Arnlodus SI equation was adapted and used to construct rainfall erosivity map In Tunisia using GIS. Finally, the rainfall erosivity values may vary significantly depending on the equations used due to the original condition in which they were developed. It is crucial to select a proper equation that can be adapted to local conditions, especially based on climatic regions. On the other hand, the spatial distribution of rainfall erosivity can be highly dependent on the number and the distribution of stations.

Key Words: rainfall erosivity, regression equation, spatial distribution, Tunisia, erosivity map

# Comparaison entre dix équations de régression pour estimer l'érosivité des précipitations à l'aide d'un ensemble de données sur les précipitations à long terme en Tunisie

#### Résumé

L'érosion hydrique est un phénomène complexe très répandu en Tunisie et menace 49% du pays. 25 Mm³ de sédiments annuellement stockés derrière les grands barrages et 877 lacs collinaires. L'équation universelle de la perte de sol (USLE) est un modèle puissant qui est très utilisé dans de nombreux pays pour estimer la perte en sol. L'érosivité des pluies est l'un des cinq facteurs pris en compte dans l'USLE pour quantifier l'effet du climat sur le taux de perte de sol. Cet article analyse et compare l'érosivité des pluies estimé en utilisant dix différentes équation de régression qui se basent sur la pluviométrie annuelle et l'Indice de Fournier Modifié (IFM). Ces équations ont été appliqué en utilisant les enregistrements 55 stations pluviométriques et pluviographiques réparties en Tunisie sur une période de 115 ans. Les résultats obtenus montrent que l'équation de Bolinne surestime l'érosion en revanche celles de Renard & Freimun et de Yu & Rossewell sous-estime les pertes en sol. Cependant les équations de Apaydinthe, Irvem et Belaid sont fortement dépendantes des valeurs des pluies annuelles et de l'indice de Founier Modifié. Les équations de Roose, Arnoldus SI et Ferro SI donnent des valeurs proches comparées à celles calculées à partir de l'équation de Wischemier (I30). En moyenne, les différences d'estimation pour les équations citées précédemment sont respectivement de l'ordre de 22%, 18% et 15%. L'équation de Rango & Arnoldus SI fournit les valeurs d'érosivité les plus proches de celles calculées en utilisant l'équation de Wischmeier avec une différence moyenne de l'ordre de 2%.Cependant, l'équation d'Arnoldus SI fournit les valeurs statistiquement les plus équivalentes pour toutes les stations. En effet, cette équation présente une régression linéaire avec un coefficient de corrélation R2de l'ordre de 0,98. Sur la base de ces résultats, l'équation d'Arnlodus SI a été adaptée et utilisée pour élaborer une carte d'érosivité des pluies en Tunisie en utilisant le SIG. Finalement, les valeurs d'érosivité des pluies peuvent varier considérablement selon les équations utilisées en raison des conditions d'origine dans lequel elles ont été développées. Il est crucial de sélectionner une équation appropriée qui peut être adaptée aux conditions locales, en particulier en fonction des régions climatiques. D'autre part, la distribution spatiale de l'érosivité des pluies peut être fortement dépendante du nombre et de la distribution spatiale des stations.

Mots Clés : érosivité des pluies, équation, distribution spatiale, Tunisie, carte d'érosivité

\_Page 131

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: <a href="mailto:cherifinsaf.inat@gmail.com">cherifinsaf.inat@gmail.com</a>

Cherif et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 131-138

#### INTRODUCTION

Runoff is caused by excess rainfall that can no longer infiltrate, thus sweeping away soil particles. This behavior of the soil to stop excess water appears either when the intensity of the rainall intensity is greater than the infiltrability of the soil surface, or when the rainfall occurs on a partially or fully saturated surface. Once the runoff has started on the plot. erosion can take different forms, which combine in time and space: sheet erosion, rill erosion and linear or concentrated erosion in talweg.

Erosive processes depend on a multiplicity of interacting factors, hence the complexity to model. The factors of erosion that must be considered to study erosive phenomena are now the subject of a consensus and include the soil, land use, topography and climate.

The possibility of a risk erosion mapping is therefore a function of the existence of spatialized data describing these factors on the one hand, and of the existence of operational models capable of describing the processes and of the erosion intensity from the available data. Dynamic mapping is an essential point of our method and makes it largely original, since it must make it possible to draw up predictive maps of the erosion hazard by regularly updating the data, the variability of which falls within a short time scale.

Thus, to characterize the influence of the climate, the cumulative kinetic energy of the rainfall would probably be the most relevant parameter, but it is not available anywhere, and we will therefore retain in this work the cumulative rainfall, weighted by information on precipitation intensity.

The objective of this work is to propose an estimation approach for the evaluation of climatic hazard and specially to assess the impact of the aggressiveness of rainfall on the erosive phenomenon. We first present a comparison of multiple linear regressions to estimate the erosivity of the rain, then, a mapping of the rain erosivity index (R) in the form of isoerodent maps.

## MATERIAL AND METHODS

## Rainfall erosivity equations

The rainfall and runoff factor or rainfall erosivity factor (R) represents the effect that rainfall has on soil erosion and was included after observing sediment deposits after an intense storm (Benavidez et al., 2018) The R factor is the average annual sum of individual storm erosion index values, El30, where E is the total kinetic energy for a storm per unit of area, and  $I_{30}$  is the storm's maximum 30-minute intensity (Yu & Rosewell, I996). Mathematically, R is  $R_a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^{m_j} (EI_{30})_l \ (\text{eq 1})$ 

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{m_j} (EI_{30})_i \text{ (eq 1)}$$

Where Ra is the average annual rainfall erosivity, n is the number of years of records, m is the number of erosive storm events of a given year j and El<sub>30</sub> is the rainfall erosivity index (storm erosion index) of a single storm event i (Schonbrodtstitt et al., 2013)

The equation for computing storm energy when rainfall is given by a continuous function is (Foster et al., 1981)

$$E = \int_0^D e_{si} dt \tag{eq 2}$$

 $E=\int_0^D e_{st}dt \qquad \qquad (\rm eq\ 2)$  Where e is the rainfall energy per unit of rainfall, (si) is the rainfall intensity for the time differential dt, t is time, and D is duration of rainfall for the storm. In most applications, equation 2 is written in discrete form as (Foster et al., 1981)

$$E = \sum_{k=1}^{p} e_k \Delta V_k \tag{eq 3}$$

Where  $e_k$  is the rainfall energy per unit rainfall and  $\Delta V_k$  is the depth of rainfall for the kth increment of the storm hyetograph divided into p part.

The hyetograph is divided so that a constant rainfall intensity over an increment can be assumed. This intensity ik is (Foster et al., 1981)

$$i_k = \frac{\Delta V_k}{\Delta t_k} \tag{eq 4}$$

Where  $\Delta t_k$  is the duration of the increment over which the intensity is considered constant. The energy unit  $e_k$  is function of intensity. It is computed in U.S customary units with (Foster et al., 1981)

$$e_k = 916 + 311 * logi$$
 i  $\leq 3$  in/hr (eq 5) and

$$e_k = 1074$$
 i > 3 in/hr (eq 6)

 $e_k = 1074 \qquad {\rm i > 3~in/hr} \quad {\rm (eq~6)}$  Where  $e_k$  has units of ft-tonf/acre per inch of rain and intensity i has units of inch/hour

## ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Issue 1 – September 2020

In U.S customary units R has units of Hundreds of feet.tonf.inch/acre.hour.year where the division by 100 is made for convenience of expressing the units, and it is computed with (Renard & Freimund, 1994)

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{j}^{n} \sum_{l=1}^{m_j} (EI_{30} * 10^{-2})_l \tag{eq 7}$$

In agricultural Handbook N°537, Wischmeier and Smith (1978) presented a conversion from U.S customary units to metric or English units where the rainfall energy  $e_k$  is expressed in metric ton-metric per hectare per centimeters of rain (m.t-m/ha), the intensityi in centimeter per hour (cm/h) and R factor in ton-metric centimeter per hectare per hour per year (t-m.cm/ha.h.year). The conversion factor is 1.735 (Wischmeier and Smith, 1978). The corresponding metric unit version of the equations are:

$$e_k = 210 + 89 * log ii \le 7.6 \text{ cm/h} (eq 8)$$
  
and  
 $e_k = 289 \text{i} > 7.6 \text{ cm/h} (eq 9)$ 

The R factor metric units presented in Agriculture Handbook N°537 (t-m.cm/ha.h.year) were corrected to units of Mj cm / ha.h.year in the supplement to Agriculture Handbook N°537 (Wischmeier and Smith, 1981). In the initial release of Agriculture Handbook N°537 (1978), the US customary unit for force (tonf) was mistakenly converted to metric units of metric ton (a mass unit) rather than the SI units for force (Newton) (Foster et al., 1981) (Renard & Freimund, 1994).

With this correction in the supplement to Agriculture Handbook N°537, the rainfall energy  $e_k$  is expressed in Megajoule per hectare per mm of rain (MI/ha) and the intensity i in millimeter per hour (mm/h) and the maximum 30-minute intensity 130 in centimeter per hour (cm/h) R factor in Mj cm / ha.h.year. The conversion factor is 1.702.(Wischmeier and Smith, 1981). The corresponding SI unit version of the equations are:

$$e_k = 0.119 + 0.0873 * logi$$
 i  $\leq$  76 mm/h (eq I0) and 
$$e_k = 0.289$$
 i  $>$  76 mm/h (eq II)

Foster et al., (1981) proposed an easy and convenient conversion from US customary units to SI units to avoid the confusing between the values of the two systems. The R factor metric units presented are Mj.mm/ha.h.year with the only difference in the I30 units which is expressed in millimeter per hour (mm/h) and the conversion factor became 17.02(Foster et al., 1981).

For many regions worldwide rainfall data are not available in an enough and adequate spatial and temporal resolution. To overcome this restriction, several studies have aimed at the assessment rainfall erosivity using regression function and expressed R-factor as a function of those erosivity indexes. This paper analyses and compares rainfall erosivity values that were compiled with ten different regression equations using the annual precipitation and the Modified Fournier Index (MFI). The regression equations used are proposed by Roose (1976), Arnoldus (1977 and 1980), Bolinne et al., (1980), Rango&Arnlodus (1987), Renard & Freimund (1994), Yu and Rossewell, (1996), Ferro et al., (1999), Apaydin et al., (2006), Irvem et al., (2007) and Belaid (2015).

## Rainfall erosivity estimators

Working in the USA and West-Africa, Arnoldus (1977,1980) attempted a correlation between Fournier's index F and know values of the R-factor for 164 stations in the USA and 14 in the West-Africa.

$$F = \frac{P_m^2}{n} \tag{eq 12}$$

Where Pm is the average rainfall of the month with the highest precipitation and P is the average annual precipitation. Arnoldus (1977) determined that Fournier's index cannot be used to approximate the R-factor of the USLE. To overcome this restriction, a modification of Fournier's Index proved to be successful; this new index is Mofidited Fournier Index (MFI) as follow: (Arnoldus, 1977)

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{p}$$
 (eq 13)

Where Pi is monthly precipitation and P is annual precipitation.

In Morocco, based on monthly precipitation data for 112 stations, Arnoldus (1980), slightly modified the log-log relationship founded in West-Africa, and created the erosivity Map for Morocco in metric units (Arnoldus, 1977). Following the work in Sebou watershed in Morocco, Rango& Arnoldus (1987) suggested a new relation to approximate the R-factor using MFI index using 200 stations data.

Arnoldus didn't specify the precipitation units used, he just identified the R factor units as metric units and mentioned that the conversion factor of 1.735 from US customary units to metric units is given for Morocco (Arnoldus, 1977) and a rounded 1.74 is given for Africa and the Middle East (Arnoldus, 1980). In both cases, the conversion factor is different

## ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Issue 1 – September 2020

Cherif et al./ IISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 131-138

from the 17.02 presented by Foster et al. (1981). (Renard &Freimund, 1994) and 1.702 presented by Wischmeier and smith (1981) in the supplement of the Agricultural handbook N°537. According to Renard & Freimund, (1994) the units presumably used are the units of t-m.cm/ha.h.year for the R factor presented in Agricultural Handbook No. 537 (Wischmeier and Smith, 1978).

Based on the conversion factors from US customary units to metric units presented by Arnoldus (1977,1980) and Foster et al., (1981), a new conversion factor for the two different metric units used (t-m.cm/ha.h.year and Mi.mm/ha.h.year) can be identified and it is around 9.8 (the Foster's conversion factor divided by the Arnoldus's conversion factor 17.02/1.735 =9.8). Renard & Freimund, (1994), mentioned that the precipitation used to calculate MFI is in millimeters, on the other hand, Chehlafi et al., (2019 et 2014) and Hniad et al., (2018), working in Morocco, defined the precipitation unit used in equation 15 is inch.

Table I. show the ten different regression equations using the annual precipitation and the Modified Fournier Index (MFI) that will be used to compute the rainfall erosivity.

Table I -the ten regression equations that were used to compute rainfall erosivity in this study

Study area	Equation	Authors	Units
West Africa	$R = P * (0.5 \pm 0.05)$	Roose	R:100 of foottonf.inch/acre.h.year/P : Inch
Morocco	$R = 1.735 * 10^{(1.5*logMFI-0.8188)}$ $R = 0.264 (MFI)^{1.5}$	Arnoldus,	R : t-m.cm/ha.h.year
Belgium	R = 3.27 * MFI - 168.42	Bolinne et al	R: 10-2 tm.cm/ha.h/ P:mm
Sebou - Morocco	logR = 1.74 * logMFI + 1.29	Rango& Arnoldus	R: t-m.cm/ha.h.year
the continental United States	$R = 0.0483 * P^{1.610}$ P≤ 850 mm $R = 587.8 - 1.219 * P + 0.004105 * P^2$	Renard & Freimund,	
Australia	$R = 0.0438 * P^{1.61}$	Yu &Rosewell	R : MJ.mm/ha.h.year
Spain	$R = 21.56 * MFI^{0.927}$	Apaydin et al.,	P : mm
Turkey	$R = 0.1215 * MFI^{2.2421}$	Irvem et al	•
Australie	$R = 21.56 * MFI^{0.927}$	Ferro	•
Tunisia	$R_{m-30} = 16.66 * MFI_m^{00.82}$	Belaid	•

## Study area

Pluviographic and pluviometry records were used to compute rainfall erosivity values at 55 stations that are shown in fig.3 which are distributed climate all over Tunisia. The is divided in to five bio-climatic class: humid and sub-humid in the North of the country, arid and semi-arid in the center and Saharan in the south and the rainfall is ranged between 1600 mm in the North( Ain drahem) and 50 mm in the South.

The amount of data per station ranged from 12 to 115 years, depending on the station the rainfall data were recorded between 1962 and 2015. Monthly and annual data were missing at same stations. The 65 stations are part of two national rainfallgauge networks that are managed by the Water Recourse General Direction (WRGD) (25) and National Institute of Meteorology (NIM) (30). The first ones (25) were equipped by pluviographs and the second ones (30) were equipped by pluviometers.

## **RÉSULTATS ET DISCUSSION**

First, we managed to convert the Arnoldus and Rango&Arnlodus equation from the original metric units (t-m.cm/ha. h. year) to the SI metric units (Mi.mm/ha.h.year). Those modified equations are given as following: Arnoldus SI equation:

$$R = 17 * 10^{(1.5*logMFI-2.92)}$$
 (eq 14)

and Rango&Arnlodus SI equation

$$R = 10 * 10^{(1.74*logMFI-1.15)}$$
 (eq 15)

The SI version of the Wischmeier and Smith equation was used to compile the rainfall erosivity factor for each storm at 25 stations. Then, we have managed to compute the mean annual rainfall erosivity value at each station.

Ten (10) different regression equations using the annual precipitation and the Modified Fournier Index (MFI) were used to compile rainfall erosivity factor for the 65 stations.

## International Journal Water Sciences and Environment Technologies ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Issue 1 – September 2020

Cherif et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 131-138

The regression equations used are proposed by Roose (1977), Arnoldus (1977 and 1980), Bolinne et al., (1980), Rango&Arnlodus (1987), Renard & Freimund (1994), Yu and Rossewell, (1996), Ferro et al., (1999), Apaydin et al., (2006), Irvem et al., (2007) and Belaid (2015). Then, the mean annual rainfall erosivity values was calculate for each station. The rainfall erosivity compiled using  $I_{30}$  were compared among those estimated by the ten regression equations for every station which equipped by pluviograph.

Based on the result of the comparison, we manage to identify the equation that provide the most statistically equivalent erosivity values. This equation was used to calculate average annual erosivity for each station. At final we manage to elaborate rainfall erosivity map of Tunisia.

The table 2 shows the rainfall erosivity (Mj.mm/ha.h.year) that was computed for the 25 stations of the WRDG.

**Table 2–**Rainfall erosivities computed using I<sub>30</sub> and the ten regression equations

Using I30		Using	Annual pr	ecipitation		Using MFI					
Stations	Wischmeie r	Roos e	Renard & Freimun d	Yu &Rossewe II	Arnoldu s SI	Ronga, Arnoldu s, SI	Bolinn e et al., SI	Ferr o et al.,	Apaydi n et al.,	Irve m et al.,	Belaid ,
Abida Cassis	560	842	353	320	856	779	1981	818	900	1001	452
Aïn Jaffel	3183	1370	774	702	2334	2436	2780	1993	1651	4340	773
Aïn Saboun	666	652	234	213	466	376	1754	463	610	392	321
Aïn Taga	2948	1525	920	834	2178	1861	3071	1615	1431	3069	681
Lebna dam	1846	1393	795	<b>721</b>	1711	1686	2821	1495	1357	2703	650
BirAyed	660	886	374	348	778	697	2037	750	848	868	429
Bou Arada	373	605	208	188	486	404	1702	490	634	430	332
El Hamma	152	197	34	31	208	147	1309	222	370	117	206
Gabes	79	161	25	22	215	153	1280	229	378	123	210
Gabès DRE	759	452	130	118	758	676	1542	732	834	833	423
Haffouz	512	555	180	164	463	373	1647	460	608	388	319
Haïdra	328	467	137	124	414	335	1558	423	574	337	304
MatmataAnc	381	383	100	90	517	434	1476	517	658	471	373
Mellegue	466	668	244	221	400	315	1772	403	555	312	295
Oued El Abid	443	753	295	267	635	564	1870	635	758	660	388
Oued El Kheïrat	481	489	148	134	509	426	1580	510	652	460	340
Oued Mgaiez	1365	1388	790	717	1388	1364	2812	1267	1213	2058	588
Oued Tine cassis	432	728	280	254	781	700	1842	752	850	872	430
Sarrat	560	608	209	190	386	278	1705	366	520	266	278
Sejnène	9153	3972	4295	3895	9122	11748	14762	6818	3818	3898	1623
Sidi Boubaker	803	1114	555	503	931	859	2359	882	948	1134	473
SilianaLaouej	506	766	304	275	627	543	1887	616	742	628	381
TuburboMaju s	817	1068	518	470	912	839	2290	866	936	1100	468
Zriba Aïn Sfaya	526	544	175	158	597	513	1636	589	720	584	371
Izid dam	187	421	116	105	231	170	1512	249	400	141	221

We compared the result of each regression equation with the Wischmeier's rainfall erosivity for all the stations.

The Bolinne equation provide significantly different erosivity values when compared to the erosivity computed using I30. The erosivity values ranged between 14762 Mj.mm/ha.h.year at Sejnen station and 1280 Mj.mm/ha.h.year at Gabes Station. This equation overestimates the erosivity with an average of 296% for all the stations.

At low rainfall amounts (P<400mm, MFI<70mm), the Apaydin equation overestimate the erosivity compared to those computed using Wischemeier equation. However, at higher rainfall amounts, the difference decreases, and the equation underestimates the erosivity. On average, a 44% difference was observed. This equation provides erosivity values ranged between 3818 Mj.mm/ha.h.year at Sejnen station and 370 Mj.mm/ha.h.year at El Hamma Station

Cherif et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 131-138

At low MFI value (MFI<40mm), the Irvem equation underestimates the erosivity compared to those computed using Wischemeier equation. However, at medium MFI value(40mm<MFI<150mm), the difference increases, and the equation overestimates the erosivity. At higher MFI value (MFI>150mm), the difference decreases to the value of 57% at Sejnen station (MFI= 266, R=3898 Mj.mm/ha.h.year). On average, the difference observed was around 14%. This equation provides erosivity values ranged between 4340 Mj.mm/ha.h.year at Ain Jaffel station and 170 Mj.mm/ha.h.year at El Hamma Station

The Renard&Freimun and the Yu &Rossewell equations predict significantly smaller rainfall erosivity with an average difference around 55% and 59% respectively for all stations. The Renard&Freimun equation provides erosivity values ranged between 4295 Mj.mm/ha.h.year at Sejnen station and 25 Mj.mm/ha.h.year at Gabes Station. The Yu &Rossewell equation provides erosivity values ranged between 3895 Mj.mm/ha.h.year at Sejnen station and 22 Mj.mm/ha.h.year at Gabes Station.

The Belaid relationship provides significantly different erosivity values specially at high rainfall amounts. On average, the difference in the erosivity estimates is 25%. This relationship gives erosivity ranged between 1623 Mj.mm/ha.h.year at Sejnen station and 206 Mj.mm/ha.h.year at El Hamma Station.

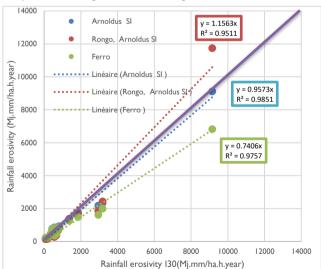
The Roose and Arnoldus SI and Ferro equations provide statistically equivalent erosivity values to those that were computed using I30. On average, the difference in the erosivity estimation using The Roose and Arnoldus SI and Ferro equations are 22% and 18% and 15% respectively. In fact, The Roose equation provides erosivity values ranged between ranged between 3972 Mj.mm/ha.h.year at Sejnen station and 161 Mj.mm/ha.h.year at Gabes Station. However, the Ferro equation provides erosivity values ranged between 6818 Mj.mm/ha.h.year at Sejnen station and 222 Mj.mm/ha.h.year at El Hamma Station. The Arnoldus SI equation provides the closer erosivity values for all stations which ranged between 9122 Mj.mm/ha.h.year at Sejnen station and 208 Mj.mm/ha.h.year at Gabes Station.

The Rango&ArnlodusSI equation provides the closer erosivity values to those computed using Wischmeier equation with a 2% difference on average. This equation provides erosivity values ranged between 11748 Mj.mm/ha.h.year at Sejnen station and 147 Mj.mm/ha.h.year at El Hamma Station.

Fig I compares the erosivity values that were computed using I30 for all sites and the three regressions equations that provided statistically equivalent erosivity values. A linear regression was used for every equation and site with forthe Rango&Arnlodus SI and Arnoldus SI and Ferro equations an  $R^2$  of 0.95 and 0.96 and 0.98 respectively.

Those results show that computing the rainfall erosivity using the Arnoldus SI equation provide the most statistically equivalent values for all the sites. This equation was adapted and used on the 65 stations to construct rainfall erosivity

map In Tunisia using GIS as showed in fig 2.





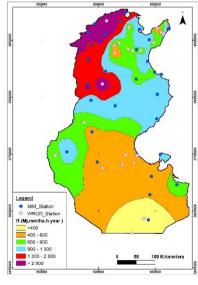


Fig. 2 – Spatial distribution of the Stations and Rainfall erosivity map

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Issue 1 - September 2020

Cherif et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 131-138

#### CONCLUSION

This study showed that the rainfall erosivity estimates using regression equations can be highly dependent on the rainfall amount and the Modified Fournier Index (MFI). The erosivity estimates that were obtained using the Apaydinand Irvem equations were significantly differents and highly sensitives to the rainfall amount and the Modified Fournier Index (MFI). Thus, those equations should be calibrated based on local precipitation data to generate reliable erosivity estimates. The Renard&Freimun and the Yu &Rossewell equations predicted significantly smaller rainfall erosivity. This difference can be explened by the original climatic conditions of those equations. The convertion of the Arnoldus and Rango&Arnlodus equation from the original metric units (t-m.cm/ha.h.year) to the SI metric units (Mj.mm/ha.h.year) provide statistically equivalent erosivity values to those that were computed using I30.

The results also showed that computing the erosivity using Roose, Arnoldus SI and The Rango&ArnlodusSI and Ferro equations provide statistically equivalent erosivity values to those that were computed using  $I_{30}$ . On average, the difference in the erosivity estimates using those equations and those using Wischmeier equation are 22% and 18% and 2% and 15% respectively. This proves that the equations were developed in climatic condition similar to Tunisia's condictions provide statistically equivalent erosivity values to those that were computed using  $I_{30}$ .

A linear regression of the Arnoldus SI equation with an  $R^2$  of 0.98 proves that this equation provides the most statistically equivalent values for all the sites. This equation was adapted and used on the 65 stations to construct rainfall erosivity map In Tunisia.

Finally, the spatial distribution of rainfall erosivity in this study isn't significant. In fact, the spatial distribution can be highly dependent on thenumber and the distribution of stations. Therefore, we manage to choose a largest number of stations with better distribution to creat a rainfall erosivity map.

## Références

- Apaydin, H., Ozturk, F., Merdun, H., Aziz, N.M., (2006). Determination of the drainage basin characteristics using vector GIS. Nordic Hydrology 37 (2), 129–142.
- Arnoldus, H. M. J.: Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, FAO Soils Bulletin, 34, 39–51, 1977.
- Arnoldus, H. M. J.: An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation, in: De Boodt, M. and Gabriels, D., Assessment of Erosion, 127–131, Chichester, UK, Wiley, 1980.
- Belaid, H., (2015), Contribution à l'etude des processus de l'érosionhydrique en milieu semi-aride Tunisien (Cas du bassin versant Sbaihia, Zaghouan). Ths, pp 75-86
- Benavidez et al., (2018) A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimate, pp 2-10
- Bolinne A, Lauant A, Rosseau P, Pauwels JM, Gabriels D, Aeltermann J (1980) Provisional rain erosivity map of Belgium. In: DeBoodt M, Gabriels D (eds) Assessment of erosion. Wiley, Chichester, pp 111–120
- Chehlafi, A et al., (2014) Highway slopes protection throughmasonry or concretedarch, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG2014, pp 4-6
- Chehlafi, A et al., (2019) Highway cutting slopes with high rainfall erosion in Morocco: Evaluation of soil losses and erosion control using concrete arches, Engineering Geology, p3
- Ferro, V., Porto,P. and Yu, B., (199)A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia, Hydrolog Sci Jpp 8-11
- Ferro, V., Giordano, G., and Iovino, M.(1991): Isoerosivity and erosion risk map for Sicily, Hydrol. Sci. J., 36, 549–564, https://doi.org/10.1080/02626669109492543,.
- Foster GR, McCool DK, Renard KG, Moldenhauer WC (1981) Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. J Soil Water Conserv 36:355–359
- Hniad, O et al., (2018), Introduction of inclined open channels for the control of surface runoff of slopes in road structures, MATEC Web of Conferences 149, 02098 (2018), p3
- irvem, A., Topaloğlu, F., and Uygur, V.( 2007): Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey, J. Hydrol., 336, 30–37, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.12.009.
- Rango, A. and Arnoldus, H.( 1987): Aménagement des bassins versants, Cahiers techniques de la FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations,.
- Renard, K. and Freimund, J. R. (1994). : Using monthy precipitation data to estimate R-factor in the revised USLE, J. Hydrol., 157, 287–306,
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., and Yoder, D.(1997): Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Agricultural Handbook No. 703, 65–100, https://doi.org/10.1201/9780203739358-5,
- Roose EJ (1976) Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa. Soil Conserv. Soc. Am, Ankeny, Iowa, pp 60–74

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) - Issue 1 – September 2020

Cherif et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 131-138

- Schönbrodt-Stitt S & Bosch A & Behrens T & Hartmann H & Shi X & Scholten T. (2013) Approximation and spatial regionalization of rainfall erosivity based on sparse data in a mountainous catchment of the Yangtze River in Central China, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 2-17
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D.(1978): Predicting rainfall erosion losses, Agriculture Handbook No. 537, 537, 285-291, https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285,
- Yu B, Rosewell CJ (1996) An assessment of daily rainfall erosivity model for New South Wales. Aust J Soil Res 34:139–152

Baccari Noamen, Hermassi Taoufik, Seifeddine Ben Arfa Flood risk assessment and mapping using multi-criteria analysis (AHP) model and GIS: Case of the Iendouba Governorate - Northwestern Tunisia International Journal Water Sciences and Environment Technologies Vol. (v), No. 2, September 2020, pp.139-149

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

Scientific Press International Limited



## Flood risk assessment and mapping using multi-criteria analysis (AHP) model and GIS: Case of the Jendouba Governorate - Northwestern Tunisia

Baccari Noamen<sup>1</sup>, Hermassi Taoufik<sup>2</sup>, Seifeddine Ben Arfa<sup>1</sup>

- I Faculty of Sciences of Tunis-El Manar(FST). Geology department. 2092 Manar II, Tunisia.
- 2 National Research Institute for Rural Engineering, Water and Forestry. Hedi Karray street, El Menzah IV. Ariana, Tunisia.

## **Abstract**

Flooding is one of the main natural disasters in Tunisia, especially in the Jendouba region (northwest) along the Medjerda River. Frequently updated maps of flood areas should be used as a decision-making tool in managing flood risk. This study aims both to map those areas of the Medjerda River within the lendouba Governorate which are at risk of flooding, as well as to draw up management maps to prevent against flooding. The approach taken was based on both geomatics tools (satellite imagery and GIS) and multicriteria analysis of the Medjerda River watershed. Flood risk was mapped by taking into account some causative factors at watershed scale: average annual rainfall, land use, surface slope, soil type, drainage density and hydrogeological maps. The relative impact of these factors was weighted using the Analytical Hierarchal Process (AHP) method. The greatest impact was attributed to annual rainfall (30%), followed by drainage density (21%), hydrogeological factors (21%), slope (17%), and land use (11%). These maps were then integrated in the GIS to generate a final flood risk map of the studied area, according to which can be seen that flood areas are mainly localized: I) on both sides of the major bed of the river, resulting from overflow of the river, and 2) in low altitudes where the water table is very close to the surface. The flood risk map is published and shared via Web-GIS in real time.

Key words: flood risk, Web-GIS, Medjerda River, Jendouba, AHP

## Évaluation et cartographie des risques d'inondation à l'aide du modèle d'analyse multicritères (AHP) et du SIG: cas du gouvernorat de Jendouba - Nord-ouest de la Tunisie

### Résumé

Les inondations sont l'une des principales catastrophes naturelles en Tunisie, en particulier dans la région de Jendouba (nord-ouest) le long de la rivière Medjerda. Des cartes des zones inondables fréquemment mises à jour devraient être utilisées comme outil de prise de décision dans la gestion des risques d'inondations. Cette étude vise à la fois à cartographier les zones qui sont menacées d'inondations de la rivière Medjerda dans le gouvernorat de Jendouba, ainsi d'établir des cartes des risques d'inondations. L'approche adoptée était basée à la fois sur des outils de géomatique (imagerie satellitaire et SIG) et sur l'analyse multicritère du bassin versant de la rivière Medjerda. Le risque d'inondation a été cartographié en tenant compte de certains facteurs causaux à l'échelle des bassins versants; précipitations annuelles moyennes, occupation du sol, pente de surface, pédologie, densité de drainage et cartes hydrogéologiques. L'impact relatif de ces facteurs a été pondéré à l'aide de la méthode de processus d'analyse hiérarchique (AHP). L'impact le plus important a été attribué aux précipitations annuelles (30%), suivies de la densité du drainage (21%), des facteurs hydrogéologiques (21%), de la pente (17%) et de l'occupation du sol (11%). Ensuite, ces cartes ont été intégrées dans un SIG pour générer la carte finale des risques d'inondations de la zone étudiée, selon laquelle on constate que les zones inondables sont principalement localisées: I) de part et d'autre du lit majeur de la rivière, inondées suite au débordement de la rivière, et 2) à basse altitude où la nappe phréatique est très proche de la surface. La carte des risques d'inondations est publiée et partagée via le Web-SIG en temps réel.

Mots clés: risque d'inondation, Web-SIG, rivière Medierda, Jendouba, AHP.

Page 139

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: noamene\_b@yahoo.fr

Baccari et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 139-149

#### INTRODUCTION

Floods remain among the most frequent disasters in recent decades (Ballais et al., 2005; Maihepireti et al., 2013). They represent 34% of natural disasters in the world (Ben Ouezdou, et al., 1991). In Tunisia, the most damaging floods were those of 1969, 1973, 1990, 2003, 2007 and 2012 (Daoud et al., 2009; Fehri 2014). The governorate of Jendouba, in the north-west of the country, was one of the most affected areas of Tunisia. The meteorological and hydrogeomorphological characteristics of the region appear to be among the natural factors causing floods. These floods are of great concern to the riverside populations and to the Tunisian authorities.

To ensure the management of this phenomenon, a good knowledge of the causal factors as well as a good mapping of the flood extent appear necessary. Remote sensing and GIS can play a leading role in this quest for knowledge (Maurel et al., 2011; Ezzine et al., 2020). In fact, remote sensing and GIS are particularly powerful tools, especially in flood monitoring (Meyer et al., 2001). These tools can also be used to study flood risks at different scales (global, regional and local), as well as in decision support for the implementation of a risk prevention plan. Flood risk could be calculated by multiplying hazard components by vulnerability ones. Hazard represents the random natural phenomenon reflected by the overflow of the watercourse and the flood extent of water in the flooding field, whereas vulnerability is characterized mainly by the sensitivity of the land use to the phenomenon of flooding (Pottier et al., 2005). The hydro-climatic factors, mainly distribution of the annual rainfall and drainage network (Abidi et al., 2019), generally characterize the hazard (Meyer et al., 2001). Among factors influencing flood conditions and thus potentially vulnerability are: geology, pedology, land use, hydrology and relief (slope) (Benson, M. A., 1959).

Several multi-criteria decision-making (MCDM) methods with different complexity and assumptions could be used in order to assess weights of factors influencing flood risk. According to Tscheikner-Gratl et al., (2016), these methods could be categorized into three categories:

- I) Value measurement models: assigning a weight to each factor according to its importance (e.g., Analytic Hierarchy Process, AHP; Weighted Sum Model, WSM);
- 2) Goal, aspiration and reference level models: measuring how good alternatives reach determined goals (e.g., TOPSIS);
- 3) Outranking models: comparing the alternatives pairwise for each factor in order to find the strength of preferring one over the other (e.g., ELECTRE, PROMETHEE).

The Analytic Hierarchy Process (AHP) has been and still the most common used approach in evaluating flood risk (Danumah et al., 2016; Tscheikner-Gratl et al., 2016). It was used in urban flood management in order to find out the priority of flood vulnerable zones taking into account the environmental, technical and social phenomena. It is also a widely used for estimating factor weights for a variety of research fields (e.g., landslide vulnerability of areas and forest fire risks (Feizizadeh, B., et al 2015).

The main objective of this study is to: I) identify and characterize the vulnerability of the factors contributing to the flood phenomenon using the hierarchical analysis process (AHP) and geomatic tools, and 2) delineate areas at risk of flooding. The study area is Jendouba governorate, often flooded by Medjerda River during large flood.

#### **MATERIALS AND METHODE**

## Study area

This study has been carried out in Jendouba Governorate, northwestern Tunisia. It is bordered by the Kef and Siliana Governorates in the south, the Beja Governorate to the east, and Algeria to the west (135 km) and the Mediterranean see to the north with a coastline of 25 km (Fig1). The Jendouba Governorate covers 3102 km², with 416,608 inhabitants, representing 4.2% of the national population. The rate of urbanization of the Governorate remains very low, 28% in 2009 (Atlas Jendouba and INS, 2012 and 2016). Jendouba Governorate has a highly wet climate with annual rainfall reaching 1 000 mm on the coast and more than 1500 mm in Aïn Draham. Agricultural region by tradition, the region is experiencing a spectacular development of tourism (the region of Tabarka and Aïn Draham). The rains are often violent and have serious consequences on the natural environment especially on the soils since they increase the aggressiveness of the flows and consequently the water erosion and the flood. Winter is the rainiest season with 45.65% of precipitations, spring has reached 34.55%, autumn with 17.3% and summer remains very dry with only 2.6% (DGRE, 2012). This area has strong local climatic contrasts due to the rugged relief nature and the topographical complexes perpendicular to the dominant humid flux.

Baccari et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 139-149

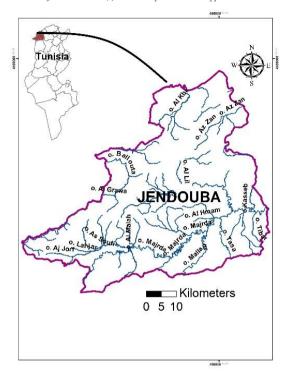


Fig 1: Study area location.

## Data and processing

Several types of data layers were used in order to map flooding risk in Jendouba. These data were extracted from the thematic maps (topographical, soil types, geological), satellite images and rainfall stations of Jendouba.

Topographic maps (1:50 000 scale) covering the entire governorate, provided by the Office of Topography and Cartography (OTC), were used to calibrate satellite images. The 2016 Landsat 8 (OLI) (Operational Land Imager) satellite imagery of the 2010 RADAR images (SRTM) was used to extract: 1) the land use map (2016), 2) the Digital Elevation Model (DEM) of the study area, 3) the slope map, 4) the slope management map and 5) the hydrographic network map. Daily, monthly and annual rainfall time series, were collected from 2005 to 2015 of the governorate and 46 surrounding rainfall stations were also used. Geological maps at 1: 50,000 scales allowed identifying the geology of the terrain (Table 1).

Table 1: List of data sets used in the study.

Data type	Scale and observation	Source
Soil map	1/200000	DGS/MARH
Rainfall	Monthly rainfall, 46 stations during 10 year	DGRE/INM
Topographic map	1/25000	OTC & SRTM (USGS)
Drainage Network	1/25000	SRTM (USGS)
Geological maps	1/50000	ONM `
Image LandSat 8 OLI	Cell size 30 m	USGS
Image SRTM	Cell size 30 m	USGS

USGS = United States Geological Survey,

SRTM =Shuttle Radar Topography Mission,

ONM = National Office of Mines,

DGS =General Direction of soil,

INM = National institute of Meteorology.

Baccari et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 139-149

## Annual precipitation

Climatic data were provided from 46 rainfall stations located in and around the study area (Fig 2). Average annual rainfall has been calculated for each station. Rainfall interpolation surface was created based on the inverse-weighting method using ArcGIS. The Inverse Distance Weighting Interpolation (IDW) determines cell values through the linearly weighted combination of a set of sample points. Unlike other more complex methods such as kriging, this method is widely used to map isohyets, because kriging involve interactively analyzing the spatial behavior of the phenomenon represented by the rainfall before selecting the best estimation method for the generation of the output surface.

The analysis of the rainfall time series of the different meteorological stations has shown that the annual rainfall averages sometimes exceed 1000 mm and can reach 1500 mm in the governorate of Jendouba. The most important quantities fall on the reliefs, best exposed to moist air masses, especially in the Ain-Draham area. The highest rainfall was recorded in Ain Draham with a total of 2502 mm / year (Atlas Jendouba and INS, 2016), in Beni M'tir with 1570.7 mm / year and in Fernana with 1313.5 mm / year (DGRE, 2012).

### Drainage network

Hydrographic network data was digitized from topographic maps (1/50 000 scale) using ArcGIS. The governorate of Jendouba has a high hydrographic density. The major part of Medjerda wadi is located at the Governorate of Jendouba. Indeed, 85% of its hydrographic network belong to the southern part of this Governorate, and the remaining to the northern part, drained by Barbara and Kebir Wadis.

In Tunisia, the Medjerda wadi starts from Ghardimaou plain, and it has several meanders and confluences. These meanders become increasingly tight when it gets closer to Jendouba city. In this Governorate, Medjerda wadi has several tributaries, such as Mellegue, Raghai, Meliz and Melah, Khalled and Tessa. These two latter wadis directly follow into Bou Salem city plain (Fig 3).

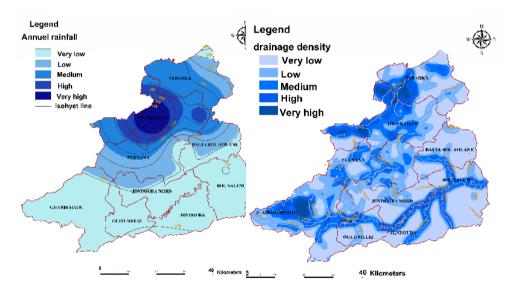


Fig 2: Rainfall interpolation surface.

Fig 3: Drainage network density.

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) – Issue 1 – September 2020

Baccari et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 139-149

## Topographic criteria

The Digital Elevation Model (DEM) (Fig 4) characterizing the topography of the area was made from topographic maps of Tunisia (1: 50,000) with equidistance of 10 meters. This resolution appears largely sufficient for our study since it is superior to that of SRTM images (30 m) (Schuttle Radar Topography Mission). The slope of the ground is one of the essential parameters used to evaluate water flow and especially gravity flow in watercourses.

Areas with low slopes are those at high flooding risk, such as Bou Salem, Wadi Mliz, Jendouba and Ghardimaou regions. This could be explained by the relatively flat topography of the plain, as well as by the high-water inflow from Medjerda wadi, giving rise to vast areas submerged by floodwaters.

Jendouba governorate seems to be particularly exposed to flooding because of its topographic features. In particular, Bou Salem city is among the most exposed area to flooding (Gharbi et al., 2014), because it is an in-land valley, surrounded by mountains in both the northwest and southeast sides, and because it is flowed by several wadi tributaries. In the extreme north-west, from Ghardimaou to Aïn Drahem, the slope is steep, while further south, from Wadi Mliz to Bou Salem, the topography is gently sloping (Fig 5).

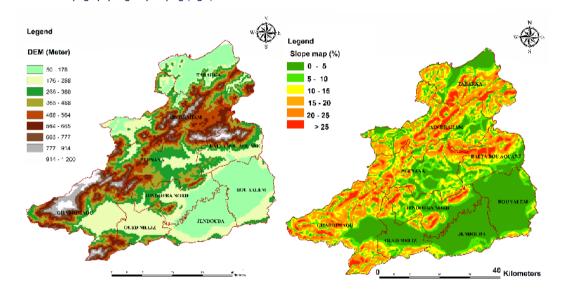


Fig 4: The Digital Elevation Model (DEM) of Jene Fig 5: The slope of Jendouba governorate, governorate.

## Soil type criteria

In the governorate of Jendouba, with a climate characterized by heavy winter precipitation, the Oligocene parent rock gave rise to brown soils more or less leached, depending on the nature and the degradation of the vegetal cover. Advanced brown forest soils generally occur under oak forests; in case of excessive cutting, overgrazing or fire, these brown forest soils become leached Podzolic soils. Hydromorphic soils locally exist, due to the high rainfall leading to waterlogging due to insufficient drainage of rainwater. A result, peat deposits in herbaceous marshes or small peat bogs maintained by springs occurs. Slightly developed soils occur on coastal dune formations of Aeolian origin (Belkhoudja and Bortoli, 1973).

## Land use map criteria

The land use map was established by processing Landsat-8 images, of July and August 2015, using ENVI 4.7 software. The used methodology in this study combined both satellite image processing techniques and field observations.

Image pre-processing started with geometric correction of satellite images covering the study area. Landsat-8 images were geometrically rectified, with a residual error of about 4 m. The nearest-neighbor resampling method that retains

Baccari et al./ IISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 139-149

the original radiometric values of the image (Caloz et al., 1993) was used. Radiometric correction was subsequently performed to reduce the atmosphere disruptive effects (Foody, 2002). Digital processing was first used in order to establish unsupervised land-use classes, (Fig 6), serving as a basis for field observations. Color combination of the OLI (6-5-4) raw bands and of the neo-channels of the principal component analysis (PCA I-2-3) allow to discriminate the different types of land occupation and to select Region of Supervised Interest (training sites) (Fig 7). Four classes were discriminated: forests, farms, water surface and bare soil.

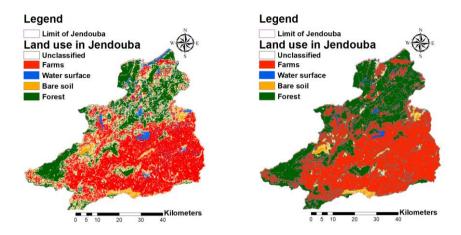


Fig 6: Unsupervised land-use classes.

Fig 7: Supervised land-use classes.

## Geological criteria

The substratum of the study region is a clay and sandstone "Numidian" flysch evolved in the Oligocene age and establishing a geological formation from the extreme north-west of Tunisia to Bizerte. In addition to these dominant sandstone and clay formations, secondary lands, and Paleocene and Eocene deposits outcrop at the surface in different places between Cape Serrat and Jendouba: clays and Triassic sandstones; Jurassic limestones; Cretaceous marls, clays, sandstones and limestones; Paleocene clays and marls; limestone and marl from the Eocene. Two substrata respectively formed in the Miocene and in the Mio-Pliocene were located in wadi Medjerda furrow. The first one is a molassic and lagoon series whereas the second one is a continental red sandy series. The Quaternary period is represented by dune systems at the seaside and by continental fluvial deposits. Peat deposits in the substratum, which has low permeability, seems to be enhanced by the humid climate of the region.

## Spatial multi-criteria analysis and mapping

The method used to establish flooding risk map of Jendouba Gouvernorate by overflow of Medjerda wadi was the Analytic Hierarchy Process (AHP). The use of this method in assessing a territory's vulnerability (Florent, 2016) to flooding is justified by the fact that planning problems for flood protection schemes are complex spatial decision-making problems and of multi-criteria nature. These problems involve multiple stakeholders in the space and generally combine conflicting objectives that reflect the diversity of interests and concerns of stakeholders in the territory. The resolution of these problems requires a considerable amount of both quantitative and qualitative data that does not have the same importance (Malczewski, 2006).

AHP method is based on five main steps leading to the establishment of a risk map (Fig 8). These steps are as follows:

- 1) Define the problem and Structure the decision hierarchy. It consists of defining the problem by specifying the assumptions, and then breaking down the decision into identify different hierarchical levels (Saaty, 1991) goal, criteria and sub-criteria.
- 2) Determine the weights of the criteria and sub-criteria. The decision maker sets the priorities by comparing the criteria pairwise (Tables 2 and 3). The ranking method was latter used to generate criterion weight values for each evaluation unit, with values varying between I and 9; 9 indicating a higher vulnerability and I indicating a low vulnerability according to the class values of the evaluation unit criterion.

Baccari et al./ IISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 139-149

- 3) Normalize the weights of the criteria. First, in each column of the comparison matrix, the criterion weight has to be normalized so that the sum per column is equal to one. Then, the row sum is calculated for each criterion; the criterion weight is obtained by dividing the row sum by the number of criteria (Table 4).
- 4) Evaluate the consistency of the judgments. Each column of the non-normalized comparison matrix was multiplied by the weight of the associated criterion (Table 5).

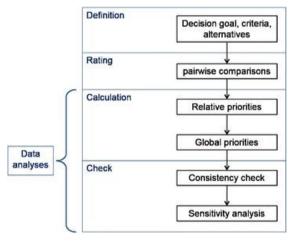


Fig 8: Steps of AHP model.

Once the weights were calculated, their coherence should be evaluated in order to validate the obtained priorities. This coherence was assessed using Consistency Ratio (CR), calculated using (CI) (Consistency index) and (RI) (Random Index or Consistency index of a random-like matrix; see Table 6) according to the following formula:

$$CR = CI/RI$$
 (eq. 1)

where:

$$CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) ;$$

 $\lambda_{max}$  = priority vector multiplied by each column total;

n = Number of criteria.

CR has to be less than or equal to 10% in order to consider the assessment consistent, and when it exceeds 10%, the assessment should be reviewed.

The flood risk map is obtained by calculating the following index:

$$Risk = \prod_{i=1}^{6} \omega_i C_i \tag{eq. 2}$$

where:  $\omega_i$  is the weigh of the Criterion  $C_i$  ( $C_1$ = Rainfall;  $C_2$ = Drainage network of the river basin;  $C_2$ = Slope of the basin;  $C_4$  = Soil type;  $C_5$  = Land cover;  $C_6$  = hydrogeological map).

The validation of the established flood risk map was based on bibliographical references, and documents describing flooding during crisis period. These documents were provided mainly by the DGRE (General Department of Water Resources under the supervision of the Ministry of Agriculture, Hydraulic Resources and Fisheries), ONPC (National Office of Civil Protection), INS (National Statistical Institute) and the National Committee Fighting Natural Disasters. These records described in detail: 1) limits of certain flooded areas, 2) nature of the floods (overflow, rising water, runoff), 3) duration and frequency of the submersions, and 4) influence of structures (roads, bridges) on flooding. In addition, field observations were conducted to locate flooded areas and flood markers, and to identify recent changes in wadi bed or land use.

Baccari et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 139-149

Table 2: Binary comparison scale used to assess territorial vulnerability (adapted from Saaty, 1991).

Appreciation	Level of importance
Equal importance of the two criteria	I
Low importance of one criterion to another	3
Average importance of one criterion compared to another	4
Strong importance of one criterion over another	5
Very strong importance of one criterion compared to another	7
Extremely importance of one criterion over another	9

**Table** 3: Square pairwise comparison matrix of the criteria (C1= Rainfall; C2= Drainage network of the river basin; C3= Slope of the basin; C4= Soil type; C5= Land cover; C6= hydrogeological map) used to assess flooding risk.

Criterion	CI	C2	C3	C4	<b>C</b> 5	C6	Priority vector
CI	1.00	2.00	2.00	2.00	4.0	2.0	0.307
C2	0.50	1.00	2.00	2.00	4.0	2.0	0.210
C3	0.50	0.50	1.00	2.00	4.0	2.0	0.160
C4	0.50	0.50	0.50	1.00	4.0	2.0	0.129
C5	0.25	0.25	0.25	0.25	1.0	2.0	0.057
C6	0.50	0.50	0.50	0.50	0.5	1.0	0.090
Sum	3.25	4.75	6.25	7.75	17.5	11.0	1.000

**Table 4**: Normalized weights of the different criteria (C1= Rainfall; C2= Drainage network of the river basin; C3= Slope of the basin; C4= Soil type; C5= Land cove; C6= hydrogeological map) used to assess flooding risk.

Criteri	o CI	C2	<b>C</b> 3	C4	C5	C6	Row total	Criterion weight
CI	0.31	0.421	0.32	0.258	0.228	0.182	1.719	1.719/6 = 0.2868
C2	0.154	0.210	0.32	0.258	0.228	0.182	1.352	1.352/6 = 0.2253
C3	0.154	0.105	0.16	0.258	0.228	0.182	1.087	1.087/6 = 0.1810
C4	0.154	0.105	0.08	0.129	0.228	0.182	0.878	0.878/6 = 0.1463
C5	0.074	0.054	0.04	0.0325	0.057	0.182	0.4395	0.439/6 = 0.0732
C6	0.154	0.105	0.08	0.0645	0.031	0.090	0.5245	0.524/6 = 0.0874
Sum	1	1	1	1	1	1		1

**Table 5:** Consistency assessment for the different criteria (CI = Rainfall; C2 = Drainage network of the river basin; C3 = Slope of the basin; C4 = Soil type; C5 = Land cover; C6 = hydrogeological map) used to evaluate flooding risk.

Criterion	CI	C2	C3	C4	C5	C6	Row sum	Coherence ratio
CI	0.2868	0.380	0.362	0.2926	0.2928	0.1748	1.8596	6.483
C2	0.1434	0.2253	0.362	0.2926	0.2928	0.1748	1.4909	6.617
C3	0.1434	0.11265	0.181	0.2926	0.2928	0.1748	1.1972	6.614
C4	0.1434	0.11265	0.0905	0.1463	0.2928	0.1748	0.9604	6.564
C5	0.0717	0.056325	0.04525	0.036575	0.0732	0.1748	0.4578	6.254
C6	0.1434	0.11265	0.0905	0.07315	0.0366	0.0874	0.5437	6.220

Baccari et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 139-149

**Table 6:** Random Indices for matrices of various sizes (Saaty, 1991).

n	ı	2	3	4	5	<u>6</u>	7	8	9	10	П	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	

In this study Random Indices" n" is equal to 6.

## **RESULTS AND DISCUSSIONS**

## Sensitivity analyses of the criteria

Calculated CI and RI of the AHP approach used to assess flooding risk in Jendouba Gouvernate were equal to 0.123 and 1.24, respectively. The Consistency Ratio (CR) was around 0.099, below the threshold value of 0.1, indicating a reasonable level of consistency. Hence, the calculated criterion weights would be accepted. The criteria contributing the most to flooding risk in Jendouba Gouvernate were mainly annual rainfall (C1), Drainage network of the river basin (C2) and Slope of the basin (C3), with weights of 0.2868 0.2253 and 0.1810, respectively.

## Flood risk map

The flood risk map (Fig 9), established using multi-criteria assessment methods with GIS, delineated five levels of risk, ranging from very low to very high. Regions with very low and low flooding risk cover respectively 26.60% and 22.60% of Jendouba Gouvernate. They are located in the centre, particularly between Balta Bouaouane, Ain Draham and Fernana delegations, characterized by high elevation and rugged (hilly) terrain.

On the other hand, regions with medium, high and very high flooding risk cover 31.40%, 12.0% and 7.60% respectively, with a total of 51% representing areas potentially affected by flooding. These regions are located in riparian zones, particularly in the meanders and in zones with tight hydrographic network. In addition, the hydrographic network in these regions has many short and steep tributaries, coming from mountains and hills, and flowing into the wadi Medjerda mainstream; the water flow from these tributaries is simultaneously concentrated in the flat areas of the main wadi and causes floods.

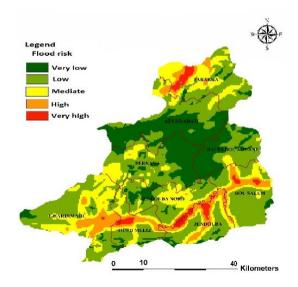


Fig 9: Flood risk map.

According to several sources (Gharbi, 2014, Ben Hassine et al., 2003), the major bed of hydrographic network Medjerda has a tendency of sedimentation superior to the scour. Thus, these deposits produce a decrease in flow capacity,

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) – Issue 1 – September 2020

Baccari et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 139-149

considered as one of the major problems of the Medjerda watershed. Finally, it should also be noted that the problems encountered in the hydrographic network Medjerda come as a result of the behavior of certain citizens, which consists in planting trees or cultivating crops or even building constructions in the major bed of the Wadi, contributes directly to the modification of the geometry of the hydrographic network. Moreover, areas between Oued Mliz, Jendouba and Bousselem cities have a shallow groundwater table (BIRH et DGRE, 2010), increasing flood risk. In these areas, flood would happen when soils are saturated and the water table rises to the surface.

With the engravement of wadi Bouhertma bed between the Bouhertma's dam and the wadi Mejerda confluence, the stretch was unable to withstand the volume of discharged water, which resulted in overflows on both sides of the wadi causing flooding on farm lands and nearby settlements (Ben Hassine et al., 2003; CRDA, 2012; Ben Rjeb et al., 2015). In addition, the MC59 road connecting Bou Salem city and the northern zone of Balta-Bouaouène delegation (Gharbi, 2014), rehabilitated in 2003, had played unfortunately the role of a barrier blocking the Wadi, accentuating the flow of flood waters toward Diamenta neighbourhood, located in southern of the railway in Bou Salem city. As a result of torrential rains in Wadi Rarai basin, a rapid rise in the Medjerda wadi and a major flooding was signalled by the control station located upstream at the confluence between Rarai affluent and Mejerda wadi, near Chemtou city.

## **CONCLUSION**

In this research, a flood risk map was developed based on the multi-criteria decision-making approach (MCDA) using different geospatial data, such as rainfall, elevation, slope, distance to the river, and land use / land cover. Field observations had showed that MCDA and GIS techniques are very powerful approaches for flood risk analysis and mapping. The MCDA approach used, in this study, remains flexible through either the change of the evaluation criteria or the integration of new criteria such as permeability, surface runoff, river flow, morphology, urban areas, the channel of the Wadi. This study also showed the role of this approach based mainly on GIS and remote sensing on the one hand and multicriteria analysis on the other hand in the qualitative risk zoning and the quantitative evaluation of the vulnerability of the criteria to flood risk.

This editorial also highlights the need for an integrated approach to risk that combines both qualitative risk zoning and quantitative vulnerability assessment of the criteria. The result is a series of digital maps, whose diagnosis of information makes it possible to visualize areas of risk according to criteria and their importance. Indeed, the knowledge of these criteria represents an important contribution to reduce and control the consequences of a flood on this specific Governorate. The resulting prototype can be used for flood preparedness and mitigation activities in any similar region.

## References

Atlas Jendouba and INS., 2016. Atlas Numérique de Gouvernorat de Jendouba. Première phase. DGAT. Ministère de l'équipement, Tunis. 112p.

Ballais, J.-L., Garry, G., and Masson, M., 2005. Contribution de l'hydrogéomorphologie à l'évaluation du risque d'inondation : le cas du Midi méditerranéen français. Comptes Rendus Géoscience, 337(13): 1120–1130.

Abidi S., Hajji O., Esslah W., Ezzine A., Hermassi T., 2019. Cartographie du risque d'inondation de la Haute Vallée de Medjerda avec Hec- Ras. Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement (JISTEE) ISNN (ectronic): 1737-9350; ISSN (printed): 1737-6688; Volume IV - Numéro I – Décembre 2019. http://jistee.org/wpcontent/uploads/2020/02/journal-ISTEE-VolumeIV-Num%C3%A9ro-1-06-02-2020-1.pdf

Belkhoudja, k., et Bortoli, L., 1973. Sols de Tunisie. Les sols de la Tunisie septentrionale. Bulletin de la division des sols, V: 186 p.

Ben Hassine, H; Ben Rjeb, M., 2003. Les crues exceptionnelles de janvier et fevrier 2003 du bassin limité par le barrage Sidi Salem et le barrage Larroussia. Direction Générale des Ressources en Eau.30p.

Ben Ouezdou, H., Kallel, M.R., and Mamou, A., 1991. Les pluies exceptionnelles de janvier 1991 en Tunisie. DGRE. Ministère de l'Agriculture, Tunis. pp 4–6.

Ben Rjeb Mondher M., 2015. Crue et inondation dans l'Amont Vallée de la Medjerda Février-Mars 2012 45p.

Benson, M. A., 1959, Channel-slope factor in flood-frequency analysis: Am. Soc. Civil Engineers, separate no. 1994, 9 p., 3 fig.

BIRH et DGRE 2010. Annuaire de la qalité des eaux souterraines en Tunisie. Ministère de l'Agriculture, Tunis. 333p. Caloz R., Blazer T. J. et Willemin G., 1993: Création d'une ortho-image à l'aide d'un modèle numérique d'altitude: influences des modes de rééchantillonnage radiométrique. Télédétection et cartographie. Edition AUPELF-UREF. Les Presses de l'Université du Québec. 17p.

Daoud A. et Dahech S., 2009 : Changements climatiques et gouvernance urbaine : cas de l'agglomération de Sfax (Tunisie méridionale). Fifth Urban Research Symposium 2009, Marseille 27 juin-1 er juillet, 12 pages, www.urs2009.net/docs/papers/Daoud.pdf

CRDA (M.A.R.H), 2012. Rapport sur les inondations de Février 2012. 87p.

ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688, Open Access Volume (V) – Issue 1 – September 2020

Baccari et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp 139-149

Danumah, J.H., Odai, S.N., Saley, B.M. et al. 2016. Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques, (cote d'ivoire). Geoenviron Disasters 3, 10 (2016). https://geoenvironmental-disasters.springeropen.com/articles/10.1186/s40677-016-0044-y

DGRE (Direction Générale des Ressources en Eau), 2012. Annuaire hydrologique de la Tunisie. Ministère de l'Agriculture, Tunis. 160 p.

Ezzine A., Saidi S. Hermassi T. et al., 2020. Flood mapping using hydraulic modeling and Sentinel-I image: Case study of Medjerda Basin, northern Tunisia, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, <a href="https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.03.00">https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.03.00</a>

Fehri Noômène, 2014. L'aggravation du risque d'inondation en Tunisie: éléments de réflexion. Physio-Géo, Volume 8 ; 2014, mis en ligne le 21 March 2014, Consulté le 25 March 2014. URL: http://physio-geo.revues.org/3953 ; DOI: 10.4000/physio-geo.3953

Feizizadeh, B.; Omrani, K.; Aghdam, F.B. 2015. Fuzzy Analytical Hierarchical Process and Spatially Explicit Uncertainty Analysis Approach for Multiple Forest Fire Risk Mapping. GI-Forum 2015, 1, 72–80.

Florent Renard, 2016. Flood risk management centered on clusters of territorial vulnerability, Geomatics, Natural Hazards and Risk.  $\frac{\text{doi.org}}{10.1080/19475705.2016.1250111}$ .

Gharbi, M., Soualmia, A. 2014. Prévision des crues éclair au niveau du bassin versant de la Medjerda. I l'ème congrès de mécanique, Agadir, Maroc.

Maihepireti Wulamu, Jean-Louis Ballais et Virginie Delorme, « L'applicabilité de la méthode hydrogéomorphologique au domaine aride du Xinjiang (Chine) : le cas du bassin versant du Karakash », Physio-Géo [En ligne], Volume 7 | 2013, mis en ligne le 21 septembre 2013, Consulté le 15 octobre 2013. URL : <a href="https://journals.openedition.org/physio-geo/3633">https://journals.openedition.org/physio-geo/3633</a> doi.org/10.4000/physio-geo.3633

Malczewski, J., 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science 20, pp.703-726.

Maurel, P., Raclot, D., and Puech, C., 2011. Apports de la télédétection à très haute résolution spatiale à l'étude du risque d'inondation, Actes du Colloque SIRNAT 2001, Sophia-Antipolis, 6-7, Décembre 2011.

Meyer, C., Geldreich, P., Yesou, H., 2001. Apport des données simulées SPOT 5 pour l'évaluation des dégâts de tempête dans la forêt de Haguenau (Alsace, France). Conférence SPOT 5 « vers de nouvelles applications », Toulouse 27-28 novembre, 2001.

Pottier, N., Penning-Rowsell, E., Tunstall, S., and Hubert, G., 2005. Land use and flood protection: contrasting approaches and outcomes in France and in England and Wales. Applied Geography, 25(1): 1–27.

Saaty TL, Vargas LG 1991. Prediction, Projection and Forecasting, Kluwer, Boston, MA.

Tscheikner-Gratl, F.; Sitzenfrei, R.; Kohl, B.; Pümpel, T.; Klebinder, K.; Ebner, C.; Leonhartsberger, C.; Knapp, A.; Rauch, W. An Integrated Approach to Identify the Most Efficient Solutions for the Landfill Leachate Problem. In World Environmental and Water Resources Congress 2016; Pathak, C.S., Reinhart, D., Eds.; ASCE Press: Reston, VA, USA, 2016; pp. 11–22.

Gaaloul Noureddine, Saeid Eslamian, Katlane Rim

Water resource management techniques in Tunisia: Towards sustainable agricultural use

International Journal Water Sciences and Environment Technologies

Vol. (v), No. 2, September 2020, pp.150-164

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

www.jiste.org

Scientific Press International Limited



## Water resource management techniques in Tunisia: Towards sustainable agricultural use

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

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

## **Abstract**

Tunisia is a marginal country hydrologically and it has adopted a number of distinctive methods of water management for agriculture. The central region supports modern dam irrigation, whilst traditional rainwater harvesting is practiced in the south. These contrasting techniques are described and evaluated in terms of sustainability using empirical field data and secondary literature for two study sites. Research focuses primarily on the physical environment, but socio-cultural and economic viability are also examined. Analysis indicates that traditional water management advantageously partitions the continuum dividing hazards and resources through subtle manipulation of the environment. A potentially hazardous environment is rendered secure by resourceful water management based on community action and cumulative knowledge. This practice minimizes community dependency and local economic imbalance. With dam irrigation, carrying capacity is established more forcibly by centralized control in order to place society within world markets. An almost total break from environmental variability is made in the short term, but this can lead to disequilibrium over longer durations. Additionally, the spatial and social distributions of development are uneven. In Tunisia, maintenance of traditional methods can reduce the negative impacts caused by modern programmes and support their positive characteristics. A mix of both methods offers a foundation to sustainable water supply in the new millennium.

Key words: Water Harvesting, Conservation, Recharge, Tunisia.

# Techniques de gestion des ressources en eau en Tunisie : vers une utilisation agricole durable

## Résumé

La Tunisie est un pays marginal sur le plan hydrologique et elle a adopté un certain nombre de méthodes distinctes de gestion de l'eau pour l'agriculture. La région centrale soutient l'irrigation des barrages modernes, tandis que la collecte traditionnelle des eaux de pluie est pratiquée dans le sud. Ces techniques contrastées sont décrites et évaluées en termes de durabilité à l'aide de données empiriques de terrain et de la littérature secondaire pour deux sites d'étude. La recherche se concentre principalement sur l'environnement physique, mais la viabilité socio-culturelle et économique est également examinée. L'analyse indique que la gestion traditionnelle de l'eau divise avantageusement le continuum qui divise les dangers et les ressources grâce à une manipulation subtile de l'environnement. Un environnement potentiellement dangereux est rendu sécurisé par une gestion ingénieuse de l'eau basée sur l'action communautaire et les connaissances cumulatives. Cette pratique minimise la dépendance communautaire et le déséquilibre économique local. Avec l'irrigation des barrages, la capacité de charge est établie de manière plus forcée par un contrôle centralisé afin de placer la société sur les marchés mondiaux. Une rupture quasi totale de la variabilité environnementale est opérée à court terme, mais cela peut conduire à un déséquilibre sur des durées plus longues. De plus, les distributions spatiales et sociales du développement sont inégales. En Tunisie, le maintien des méthodes traditionnelles peut réduire les impacts négatifs causés par les programmes modernes et soutenir leurs caractéristiques positives. Un mélange des deux méthodes offre une base pour un approvisionnement en eau durable dans le nouveau millénaire.

**Mots clés :** Collecte de l'eau, conservation, recharge, Tunisie.

Page 150

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Corresponding author: gaaloul.noureddine@iresa.agrinet.tn

# International Journal Water Sciences and Environment Technologies ISSN Online: 1737-9350 ISSN Print: 1737-6688; Open Access Volume (V) - Issue 1 - September 2020

Gaaloul et al. / JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

## INTRODUCTION

In the arid and semi-arid region, countries such as Tunisia are facing increasingly more serious water shortage problems. Problems of water scarcity will intensify because of population growth, rise in living standards, and accelerated urbanisation which threaten the water supply in general and agriculture in particular and lead to both an increase in water consumption and pollution of water resources. Continuing increase in demand by the urban sector has led to increased utilisation of fresh water for domestic purposes, on the one hand, and production of greater volumes of wastewater, on the other. Agriculture in competition with other sectors will face increasing problems of water quantity and quality considering increasingly limited conventional water resources and growing future requirements and a decrease in the volume of fresh water available for agriculture.

The history of Tunisia reveals how the scarcity of water resource forced its inhabitants to deal with its unequal distribution within the country. As early as 130 BC, the Roman Emperor Adrian constructed a temple of water and a huge aqueduct to transfer water over 123 km from a spring located in the region of Zaghouan to the city of Carthage. In the early eighth century, the Arabic Dynasty of Aghlabides transferred groundwater and stored it in big basins to supply the new founded town of Kairouan. This concern for water still persists since it is required for development in all social and economic sectors.

Tunisia is situated to the south of the Mediterranean; it is bordered by Libya in the southeast, Algeria in the west (Fig.1). Tunisia's surface area is of 164,000 km², its coastline totals 1300 km, its average altitude is 700 m and its highest point is the Jebel Châambi (1540 m). Tunisia country share many common features in terms of climate, water and land resources and development issues. These include arid and semi-arid climate, limited water resources, agricultural development limited by water availability and high economic and social value of water (Gaaloul, 2011).

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

Tunisia's geographical situation, bordering the Mediterranean on the east and north and stretching to the Sahara in the south, gives it an arid, diversified climate. The climate is varies from Mediterranean to semi-arid and arid, ranging from humid in the extreme North to desert-type in the extreme south. The climate is Mediterranean, ranging from humid in the extreme North to desert-type in the extreme south. In the north and along the coast, the climate is Mediterranean; inland and in the south it is semi-arid to arid.

The hottest month is August with a mean monthly temperature of  $26^{\circ}$ C, and a highest monthly temperature of  $28.7^{\circ}$ C. January is the coolest month having a mean monthly temperature of  $10.7^{\circ}$ C and a lowest value of  $8.4^{\circ}$ C. The mean annual temperature in Tunisia varies between  $15^{\circ}$ C in the North to  $21^{\circ}$ C in the South.

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

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

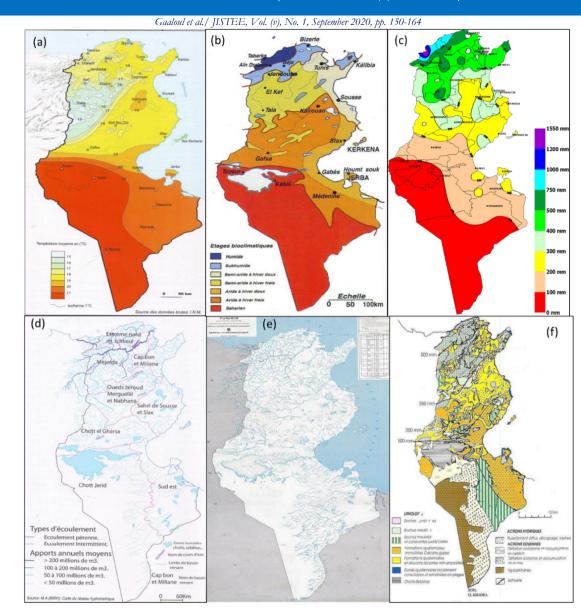


Fig. 1. Tunisia situation geographic and the network hydrographical (a) Temperature; (b) Bioclimatique, (c) Rainfall; (d) Dam, (e) Hydrographic network; (f) Erosion

The total population of the country is 9.6 million inhabitants (2004 census) with 61 % living in urban areas and 39 % in rural areas. The natural growth rate is 1.9 % (2004). Education has always been a priority sector, with a primary school enrolment rate of 100 %. Although the illiteracy rate is still high, it is decreasing progressively. Health standards have much improved as witnessed by the drop in infant mortality from 127% in 1970 to 42% in 2004.

Tunisia faces a number of convergent natural and anthropic factors, which account for the fairly advanced level of soil degradation. The main problems are water and wind erosion, and salinisation. The great challenge is to contain these problems whilst preserving the productive potential of the land. Preventive actions aimed at the rational management of land must be combined with curative actions to enable land improvement, rehabilitation and restoration through adequate management. The combination of Tunisia's varied bioclimate, ranging from humid to Saharan - and its geology offering

Gaaloul et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

different types of rock outcrops -, generates a fairly rich variety of soils. The soils are well differentiated by their fertility and sensitivity to degradation. Three major regions can be distinguished by the nature of their soils and the related cultivation systems (Souissi, 2001).

Northern Tunisia, a region with a sylvo-pastoral potential, has highly diversified soils:

- Acid soils on alternating clay and sandstone, non calcareous, shallow but quite rich in organic matter and relatively stable,
- Deep calcareous soils on marl slopes very sensitive to water erosion;
- Shallow soils on calcareous rock, located on tops of hills;
- Deep, stable and fertile soils of numerous more or less extended plains.

All suffer severe water erosion enhanced by slope cultivation and tillage, by overgrazing, and by inadequate rotations of rain fed and irrigated crops where the integration of animal husbandry is virtually absent. The failure to recycle organic matter (manure, straw) accentuates the impoverishment of soils in humus and leads to their physical and chemical degradation. Soils of irrigated plains risk chemical degradation - salinisation - due to irrigation with brackish water without sufficient drainage to leach out the salts. Central Tunisia is an agro-pastoral region dominated equally by the heavy soils of alluvial plains, which are mostly sodic, by the sealed skeletal calcareous soils of the large fans and by the deep and light soils, which were in the past occupied by rich pastures.

These different units are confronted with several problems: the expansion of tree cultivation on the sandy steppes which triggers wind erosion; the cultivation of natural and esparto grass pastures which leads to the reduction of pasturelands, and as a consequence to overgrazing; the excessive development of irrigated agriculture using degraded water derived from overexploited aquifers, which leads to the secondary salinisation of soils.

Southern Tunisia has a pastoral vocation and is characterized by arid, light soils vulnerable to wind erosion, dominated by the presence of gypsum. Olive growing and cereal cultivation in the southern steppes are the cause of desertification of the natural pastures; these by deflation become stone deserts, and by accumulation, sand dunes. Mean annual rainfall values can be exceeded by factors of two to twelve during short and intensive rainfall events producing runoff and causing soil erosion (695 to 6050 tons per km² and year). Annual soil losses are estimated at 23 000 hectares, of which 13 000 hectares cannot be recovered (Souissi, 2001).

Land suitable for cultivation in the north and center of Tunisia, located north of the 200 mm isohyets, are most threatened by strong and moderate erosion while the Center-East and Cap Bon are somewhat less threatened. In total 1.2 million hectares are affected by water erosion, representing 25% of the nation's land suitable for cultivation. In the South, an estimated 50% of the land, not included in natural deserts, faces desertification (accumulation of sand, surface scraping). In spite of the wide range of causes and effects often used to describe it, desertification is a well-defined process. It is triggered by changes in climatic and socio-economic boundary conditions of affected dry land systems. These changes cause the systems to enter an irreversible positive feedback loop of overexploitation of land. The final outcomes are land degradation and disruption of local economies. Desertification is an acute process that occurs at rates several orders of magnitude faster than purely climate-driven land responses.

Tunisia's physical and climatic diversity has had great influence on the way in which its natural resources are used, and this, in turn, has had an influence on the risk of desertification. In the south of Tunisia, the steppes are reportedly being destroyed by human pressure at a rate of 1% per year. Alfa grass or plant communities associated with it dominate most of the steppes in the south of Tunisia. Human activities are at the root of the main factors in soil and plant-cover deterioration: overgrazing, cultivation of natural grazing lands, eradication of woody plant species, and irrigation with brackish water accompanied by poor drainage.

The effect of such inappropriate use of natural resources tend to be amplified by physical factors, varying according to region in terms of vulnerability and sensitivity: water and wind erosion, increasing soil salinity.

Gaaloul et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

## Water Harvesting, Conservation and Natural Recharge

The term water harvesting refers to direct collection of precipitation falling on the roof or onto the ground without passing through the stage of surface runoff on land. It is sometimes used to describe the entire gamut of water harvesting. We shall use it here only in the specific sense (Rahman et al., 2017).

The term conservation has been widely used in different fields. Economists consider conservation as managing the resources in such a way that maximum human needs will be satisfied. The water conservation can be considered as prevention against loss of waste (Malekian et al., 2017).

Technically, this can be achieved by putting the water resources of the country for the best beneficial use with all the technology available in hand. As far as Tunisia is concerned, in most of the places, there is a rainfall during winters months and very little rain during other months.

The winters rainfall often comes in pattern, which leaves some drought period in between. For this drought period, conservation of water is necessary. Conservation of water in drought prone area will help in providing more irrigation for development of agricultural potential of these areas.

The term recharge refers to transfer of surface water to sub-surface aquifers. The natural recharge process is seasonal nature, but the exploitation of groundwater is continuous and is increasing every year. Groundwater recharge is an important part of the hydrologic cycle, in which water from the surface works its way into the subsurface, replenishing groundwater supplies. In nature, groundwater recharge is supplied by rain, snowmelt, rivers, lakes, and streams. While some surface water evaporates or works its way into another watershed, other water trickles through the earth, gradually meeting up with a supply of water below the surface. It can take a long time for groundwater supplies to build up, or they can be replenished very quickly, depending on a variety of environmental factors.

The natural recharge can be increased somewhat by proper land use (natural vegetation and choice of crops), land tillage practices (e.g. contour ploughing in sloping areas, terraces), the installation of check dams and weirs in surface waters, so as to raise the water levels therein and to divert water to adjacent spreading grounds. The guiding principle of all these measures is to hold up the water as long and as much as possible in order to give it more time for infiltration, rather than to let it run off directly. Most of these measures are also favorable for erosion control (Bear et al., 1999).

Artificial recharge, one of the oldest activities undertaken in the world to conserve rainwater both above-ground and underground, is as old as the irrigated agriculture in the arid and semi-arid regions. In the olden days, the recharge movement initiated by the local communities was aided and supported by kings, chieftains, philanthropists and by those who valued water and practiced conservation.

Artificial recharge is the planned, human activity of augmenting the amount of groundwater available through works designed to increase the natural replenishment or percolation of surface waters into the groundwater aquifers, resulting in a corresponding increase in the amount of groundwater available for abstraction. Although the primary objective of this technology is to preserve or enhance groundwater resources, artificial recharge has been used for many other beneficial purposes. Some of these purposes include conservation or disposal of floodwaters, control of saltwater intrusion, storage of water to reduce pumping and piping costs, temporary regulation of groundwater abstraction, and water quality improvement by removal of suspended solids by filtration through the ground or by dilution by mixing with naturally-occurring groundwaters (Asano, 1985). Artificial recharge also has application in wastewater disposal, waste treatment, secondary oil recovery, prevention of land subsidence, storage of freshwater within saline aquifers, crop development, and streamflow augmentation (Oaksford, 1985).

The United Nations Food and Agriculture Organization (FAO, 2002) is actively engaged in promoting three methods of recharge to shallow aquifers:

- water harvesting techniques ('run-off farming') by which water is stored in the root-zone and excess water percolates to the aquifers.
- water management in wetlands to provide over-season storage and enhanced recession flows to contribute to recharge and provide residual soil moisture for a dry season cropping,
- construction of small reservoirs, even on permeable soils, to store water but at the same time also to recharge the local shallow aquifer.
- The principles followed when applying aquifer recharge include:
- Ideally, recharge activities, including mechanized water harvesting techniques, should focus on the most favorable soil/aquifer situations and be combined with the overall resource management of the linked aquifer systems, at the watershed scale
- Full participation from the farmer's community, paying particular attention to the role of women, through involvement during planning, design, implementation, operation and evaluation of the system.

Gaaloul et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

The investment should result in income in the short term. Water harvesting results in surplus production of grain or fodder. Artificial recharge should result in more water for irrigation and increased production

A variety of methods have been developed and applied to artificially recharge groundwater reservoirs in various parts of the world. Details of these methods, as well as related topics, can be found in the literature (Todd, 1980; Asano, 1985; CGWB, 1994). The methods may be generally classified in the following four categories (Oaksford, 1985):

- (I) Direct surface recharge techniques are among the simplest and most widely applied methods (ASANO, 1985; Todd, 1980)
- (2) Direct subsurface recharge techniques access deeper aquifers and require less land than the direct surface recharge methods, but are more expensive to construct and maintain (CGWB, 1994)
- (3) Combination surface-subsurface methods, including subsurface drainage (collectors with wells), basins with pits, shafts, and wells can be used in conjunction with one another to meet specific recharge needs.
- (4) Indirect recharge techniques include the installation of groundwater pumping facilities or infiltration galleries near hydraulically connected surface water bodies (streams or lakes) to lower groundwater levels and induce infiltration from surface water bodies (Helweg et al., 1978).

The recharge process is extremely complex, and, due to the numerous factors affecting the process, is only partly understood. The studies on artificial recharge techniques are mostly site-specific and descriptive in nature, which gives little insight into the potential success of implementing this technology in other locations.

## Traditional Water Harvesting, Conservation and Recharge Systems In Tunisia

Throughout the semi-arid lands of the developing world, small scale, resource-poor farmers who manage such risk prone and marginal environments, remain largely untouched by modern agricultural technology. Although risk and uncertainty dominate the lives of these rural inhabitants, many farmers have been able to develop durable farming systems through the use of innovative soil and water management systems and the use of locally adapted crop species and varieties (Barrow, 1999). Based on ecological rationale and by manipulating nature indirectly (i.e., concentrating scarce rainwater as well as through provision of supplementary water during critical times) farmers perform small-scale management of the local environment which moderates natural vagaries allowing them to obtain a sustainable harvest from the land, even in the midst of drought.

The semi-arid region of Tunisia is one of the most populated semi-arid areas in the world. The semi-arid region of Tunisia has been periodically affected by moderate to extreme droughts, jeopardizing livelihoods and severely impacting the life standards of millions of family farmers.

Out of a total land area of 155000  $km^2$ , non-arid area is estimated at 37,000  $km^2$  (24%), arid area 55,000  $km^2$  (35%) and desert 63,000  $km^2$ (41%).

Over the past 30 to 35 years, Tunisia has been actively evaluating and mobilizing water resources in the country. The progressive management of water has been a central component of Tunisia's socio-economic development strategy, and investments in the water sector have made up 40-65% of the Ministry of Agriculture's budget. In Tunisia's tenth economic plan, drafted in 2002, the mobilization of water resources was reiterated. This process of water mobilization will include the implementation of a comprehensive system of large and small dams and a water supply network that allows connections between surface and groundwater reservoirs within and between basins to supply inland regional water saving techniques and subsidizing irrigation equipment.

The main water harvesting techniques encountered in the Tunisia country (Figure 2) can be subdivided into three major groups (Omrani et al.; 2008):

- (i) runoff water harvesting that makes use of runoff as it is collected, thus eliminating the need for storage-included among such systems are the related micro-catchment techniques called meskat and jessour;
  - (ii) loodwater harvesting and spreading or spate irrigation using diversion dykes (mgoud);
- (iii) runoff water collection and storage in reservoirs of variable capacities, which provides drinking water for people and animals, as well as water for irrigation purposes.

Since the works on traditional water harvesting, were published, a large number of studies have been made of the methods used to induce, collect, store and conserve local surface runoff for agriculture in arid and semi-arid regions. A compilation of these techniques was recently produced by Ennabli, 1993; Ben Mechlia et al.,2004; Ouessar et al.,2006; Ouessar, 2007.

Agriculture occupies 28% of the total land area of the country; however, it consumes approximately 80% of the water resources. Although agriculture is traditionally and predominately rainfed; irrigated agriculture has grown from 1.6% to 7% over the period between 1997-2001. Inappropriate and poorly applied surface irrigation techniques have resulted in

Gaaloul et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

significant water losses, and over the past few years, the government has made considerable efforts to improve the efficiency of irrigation by introducing water saving techniques and subsidizing irrigation equipment. The involvement of water users in the management of the resource has been very important in changing the social concept of water, and redefining its value in economic terms. Increased awareness of the scarcity of water and the need for its rational use has been a success of this policy.

Irrigation in Tunisia differs from most regions in the world, because the water used is high in salt concentration, approximately 4-6 times higher than standard irrigation practices. The use of brackish, low quality water has been extensively developed in the country. The most common type of irrigation practice is gravity irrigation, which accounts for 75% of all systems. Sprinkler (20%) and drip irrigation (5%) systems are not as prevalent.

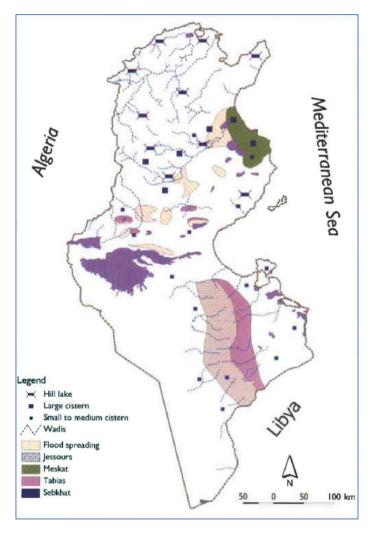


Fig. 2. Geographical distribution of traditional water harvesting, conservation and recharge techniques in Tunisia (adapted from El Amami, 1984; Ben Mechlia and Ouessar, 2004; Ouessar, 2007).

Many water harvesting techniques, which make use of runoff as it is collected, have been operational for several hundred years. These include two related major techniques of micro-catchments, locally known as Meskat in the central coastal area where the mean annual rainfall is around 300 mm, and Jessour in the more arid zones (150 mm) (Ben Mechlia et al., 2009).

Gaaloul et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

A wide variety of traditional and contemporary water harvesting technologies, such as terraces, Meskat, jessour, tabias, cisterns, gabion check dams and recharge wells are used in the study area. Water harvesting in the studied watershed has a long history as evidenced. The Meskat and jessour systems are still used in southern Tunisia to support production of olives, date palms and figs (Oweis et al., 2004).

In Tunisia the area under Meskats reached a peak of about 300 000 ha during the 1970s but has declined steadily since. In the southern region of Tunisia where the annual rainfall ranges between 150 and 230 mm, the areas treated with traditional water harvesting techniques (mainly jessour: small retention dam) were limited to the upper parts of the wadi catchment zones (El Amami, 1984). However, with the independence there has been a gradual extension of the cultivated fields, mainly olive trees, to the neighboring areas thanks to the confection of tabias (same as jessour but practiced on foothills) and water spreading structures in the foothills and surrounding plains (jeffara), exploited normally as rangelands. In parallel, the soil and water conservation service of the Ministry of Agriculture has also introduced new techniques (gabion units, ground water recharge wells, etc.) especially during the last decade, which witnessed the implementation of the national soil and water conservation strategy and the water resources mobilization strategy. Then, the enrichment of the existing traditional techniques has raised the question of the nature of the linkages between the traditional and the newly introduced water harvesting techniques, are they complement or conflicting? What are the perceptions of the local communities of these changes in the landscape occupation?

Macrocatchment rainwater harvesting (Pacey and Cullis 1986; Barrow 1999) has a long history in the Matmata Plateau, dating back many hundreds of years to the original Berber inhabitants. Here, climate, topography and soils together make rainwater harvesting very effective. The majority of rain falls as high intensity-low frequency downpours. Overland flow is generated rapidly and it travels quickly over the steep slopes, supplying water and soil to valley bottoms. Earthen check dams (tabias) are sited progressively downslope to trap eroded material from the valley sides and this material is levelled to form agricultural fields (jessour). Water that is trapped behind tabias after rain events infiltrates into the soil and it can create a temporary, phreatic water supply. The rainfall multiplier effect of rainwater harvesting depends primarily on the ratio of catchment area to cropped area. On the western outskirts of Matmata, a ratio of 6:1 translates into field sizes approximating 0.6 ha and catchment sizes of around 4 ha (Hill and Woodland, 2003). Despite the existence of many techniques, some of them modern and others traditional have been used to valorize the runoff water, the most important and usable technique in Matmata Mountain is the traditional technique called "Jessour" and it is used basically to harvest and store water and erosion products behind their dykes (Gasmi et al.,2014).

The meskat and jessour systems are still used in southern Tunisia to support production of olives, date palms and figs. The use of water harvesting techniques is not only restricted to collecting water for agriculture. In order to increase the amount of water available for crop production and cattle breeding, several types of water harvesting techniques have been developed in Tunisia: Meskat, Jessour, Tabia, terraces, cisterns, gabions, recharge wells

Meskat is a traditional system consisting of two compartments, a catchment area and a downslope cropping area, both delineated by low bunds. Catchment and cropping area are connected by a spillway. Meskat is term used in Tunisia for an indigenous water harvesting system supporting mainly olives and figs. This system consists of catchment, or meskat, occupying the slope adjacent to a flat cultivated area called manqa. In Tunisia, the "Meskat" (Fig. 13.5 and 13.6) system has a long tradition and are also still practiced (El Amami, 1977). The "Meskat" micro-catchment system consists of a catchment area (the meskat) of about 500 m² and a crop ping area (Manka) of about 250 m². The catchment and cropping areas are surrounded by a 15–30-cm-high bund equipped with spillways to let runoff flow into the cropping plots. Meskats are suitable for areas with 200–400 mm annual rainfall and land slopes of 2–15%. A Meskat has one catchment area but may have more than one cropped area, laid out in series so that surplus runoff water spills over from one cropped area to another one. The success of the Meskat system is related to (Ben Mechlia et al., 2009):

- (i) the low slopes, usually 2-10%, but never exceeding 16%,
- (ii) the good infiltration rate, depth (more than 1 m) and holding capacity of the soil,
- (iii) the good rooting system of the grown olive trees, and
- (iv) the use of the runoff area for grazing, which improves farmers' income

As for the social and institutional setting, the Meskat system has been developed mainly on private lands and embankments are designed so that all rainwater collected is kept within the farm. There is also a specific legislation that recognizes farmers' rights over runoff water. Meskat cover about 300 000 ha in the region of Sousse, representing about 5 million productive olive trees (El Amami, 1986). The typical landscape is dominated by rolling topography and soils having sandy loam textures, good infiltration rates and high water retention capacity. The method involves basically a catchment area, and a smaller collection area in which olive trees are grown. The cultivated area is formed by one or several compartments bounded by earthen embankment and connected by spillways (Ben Mechlia et al., 2009).

Gaaloul et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

Jessour, Jesser, Katra (Arabic): Jessour is an Arabic term describing the widespread indigenous wall structures built across relatively steep wadis in southern Tunisia. The walls are usually high because the slope is steep. They are made of earth, stones or both, but always have a spillway, usually of stone. This system is similar to wadi-bed cultivation except that it is used on steep wadi beds and always includes a spillway to release the excessive water. Jessour is the plural of a Jessr which is the hydraulic unit comprising a dyke, spillway, terrace (cropping area: fruit trees and annuals), and impluvium (runoff catchment area) (Fig. 13.7 and 13.8). lessour are built in the inter-mountain run-off courses and consist of a series of stone and earth walls, called tabias (or sed, katra), that are erected across the stream beds of narrow valley watersheds. In Tunisia, the "Jessour" system has a long tradition and are also still practiced. Jessour is an ancient runoff water harvesting technique widely practised in the arid highlands of southern Tunisia. After each rainfall event, significant volumes of runoff water accumulate on the terrace and infiltrate into the soil to sustain trees and crops. The spillway ensures sharing the runoff water with downstream users and the safe discharge of excess water. This is an old runoff water harvesting technique widely adopted in arid highlands, which occupies the runoff watercourses. The hydraulic unit of a jessour is the jessr consisting of three components: the impluvium, the terrace and the dyke. The impluvium or the catchment area is used for collecting (harvesting) the runoff water. The terrace or the cropping zone is the area where crops or trees are grown and where the runoff water is caught. The dyke is a barrier established to block the sediments and runoff water. Its body is made of earth equipped with a central and/or lateral spillway and one or two abutments. This should assure the evacuation of excess water. A single unit is made of three components: impluvium, terrace and dyke. The impluvium is the area which collects and conveys runoff water. During heavy rainfall events, a unit can also receive water from upstream units. The terrace or cropping zone is formed by artificial soil resulting from long-term sediment deposits; in some cases, soil depth can reach 5 m. In general, fruit trees are grown on terraces (olive, palm, almond, fig), but legumes and cereals can also be planted in good years. In Jessour, the dyke acts as a barrier to hold back sediments and runoff water. Dykes are trapezoidal in shape, 15-50 m long and 2-5 m high, and are made of earth consolidated with a coating of dry stones to reduce the erosive effects of wave action of water on the front and back of the dyke. A central or lateral spillway as well as one or two abetments are used for emptying excess water. Spillways are made up of stones arranged in stairs in order to absorb kinetic energy of the overflow (Ben Mechlia et al., 2009). Dykes are built more frequently with soil from the bottom of the valley, and they armed in the downstream by a wall of dry stones to make it more powerful and we talk here about "Sirra". Torrential rain in the mountainous areas causes an important volume of loose of materials such as silt and sand extracted from the slope by runoff and consequently across the time accumulated behind the tabia to form the "kliss". In fact, to protect the dykes from destruction two types of spillway are constructed to evacuate excess water to the next units located on the downstream, the lateral spillway located in the end of dyke called "Menfess" whereas the "Masraf" is the central spillway which is much more difficult to construct, since their building requires a lot of investments in labor and materials. Every jesr has an impluvium or catchment area for which is considered as a watershed and it's naturally delimited by the water parting line between the different units (Boufaroua, 2002, Boufaroua et al., 2001; Chahbani, 1990; Gasmi et al.,2014). Jessour are generally located in hilly areas where the slope is fairly steep, usually higher than 4-5%. The jessour is the plural of a jesr which is a hydraulic unit made of three main components; the dike, the terrace and the impluvium. The rainfall multiplier effect of rainwater harvesting depends primarily on the ratio of catchment area to cropped area. On the western outskirts of Matmata, a ratio of 6:1 translates into field sizes approximating 0.6 ha and catchment sizes of around 4 ha (Hill and Woodland, 2003). In Tunisia about 400,000 ha are covered by jessour, particularly in the Matmata mountain range, where they generally occupy the runoff pathways (talwegs). This system can provide the fruit tree plantation with about 2,000 m3 extra water during the rainy season. Whereas the "Meskats" are mainly found in the Sousse region, the "Jessour" are widespread in the South (Matmata). The "Jessour" system is a terraced wadi system with earth dikes ("tabia") which are often reinforced by dry stone walls ("sirra"). The sediments accumulating behind the dikes are used for cropping. Most "Jessour" have a lateral or central spillway. The "Mgouds" in Central Tunisia are channel systems used to divert floodwater from the wadi to the fields (El Amami, 1977). Like in other regions of Tunisia and the world, terraces are constructed on steep slopes using small retaining walls made of rocks to slow down the flow of water and to control erosion. It seems that this technique is the oldest adopted water harvesting technique in the watershed. The Jessour, covers about 400,000 ha of the arid mountainous area of southern Tunisia (El Amami 1984). It provides adequate control of runoff on steep slopes in areas where annual rainfall varies from 100 to 250 mm. The technique is based on the use of a large area with steep slope for runoff and the development of agricultural activities on the alluvial deposits. The water collection area consists of a series of terraces, so water can accumulate successively in several terraces as it flows downstream. Locally designed berms provide good protection of the cultivated area, prevent violent floods and ensure controlled use of the runoff water (Ben Mechlia et al., 2009). Jessour are recognized as an ancient method for collecting runoff water from the long slopes, which allowing the use of stored water for the planting of trees (olive, peach, almond...) and the practice of annual crops (wheat, barley), chiefly in Matmata Mountains (Gasmi et al., 2014).

<u>Tabia</u> on the piedmont area. Tree products (olive, almond, fig, palm) and annuals (barley) can be harvested. This technique tabia is a replica of the jessour system constructed in the foothill and piedmont areas. It is a relative new technique constructed by mountain dwellers. So, it is considered as a relatively new technique developed by the mountain dwellers that migrated to the neighboring plains. Alaya et al. (1993) reported that some ancient remnants of tabias were found in

Gaaloul et al./ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

the region of Gafsa. However, this system has been adopted in neighbouring foothills and plains of central and south-eastern regions (Jeffara) of the country following the transformation of pasture lands to cultivated fields. The tabia collect and retain run-off water and silt washed down hillsides by rainfall, forming terraces in a stair-step fashion down the natural slope. The tabia technology is similar to the jessour system but is used in the gently-sloping foothill and piedmont areas. It is considered to be a relatively new technique, developed by mountain dwellers who migrated to the plains. Tabia, like jessour, comprise an earthen dyke (50-150 m in length, 1-2 m in height), a spillway (central and/or lateral) and an associated water harvesting area. The ratio of impluvium to cropped area in Tabia vary from 6 to 20. The ratio between the area where water is applied (cropped area) and the total area from which water is collected varies from 1:6 to 1:20. The differences between the tabia and the jessour systems are that the former contains two additional lateral bunds (up to 30 m long) and sometimes a small flood diversion dyke (mgoud). Small tabia are constructed manually using shovels, pickles and carts. Larger constructions are done mechanically using tractors and bulldozers. Tabia have a central or lateral spillway and two additional lateral bunds. Fruit trees and annual crops are commonly grown.

A Tabia collects, on a cultivated area of 5% of the catchment, eight times the amount of each rainfall storm above 20 mm. Tabia are also an effective means to control soil erosion and improve groundwater recharge. Tabia are found in piedmonts and plains in areas with slopes under 3%. Tabia is formed by an earth bund, reinforced from below by a stone wall, on the sides by a stone-lined spillway typically erected along contour lines, and at the ends by lateral bunds. Water is stored until it reaches a height of 20 to 30 cm and is then diverted, either through a spillway or at the upper ends of the lateral bunds. The tabia gains its water directly from its water storage basin (impluvium) or through diversion of Wadi run-off. The tabia are now widely used in the piedmont areas where the fruit trees (mainly olive and almond) groves are gaining large areas at the expense of grazing lands. The gabioning technique has been very attractive and hundreds of units are installed on the main wadi courses as small check dams or spreading structures for diverting runoff waters. he tabias and jessours in Tunisia are a good example of floodwater harvesting within a streambed in a region with 100-200 mm rainfall. The meskat and mankaa also in Tunisia are examples of water harvesting systems using a long slope in regions with 200-400 mm rainfall. The tabia is a runoff water harvesting techniques widely practised in central Tunisia. Tabias are usually installed on the piedmont areas where the slope does not exceed 3 % with relatively deep soils. It has the same components as jessours: a dyke (50-150 m length, 1-1.5 m height), a spillway (central and/or lateral) and an impluvium. The impluvium/cropped area ratios vary from 6 to 20. The differences between the tabias and jessour are the two additional lateral bunds (up to 30 m long) and sometimes a small flood diversion dyke (mgoud) (Alaya et al., 1993). Fruit trees and annual crops are commonly grown. This system has been adopted in neighbouring foothills and plains of south eastern regions (Jeffara) following the transformation of pasture lands to cultivated fields. Besides their water harvesting qualities, tabias have also positive effects on soil erosion control and on groundwater recharge.

Cisterns, locally known as fesquia or majel, are built to collect and store rainfall. Cisterns are subsurface water reservoirs / storage tanks (Fig. 13.10). Cisterns can be traced back to before 3000 BC -and even earlier, when natural caves were used to store water long before man-made cisterns (Wahlin, 1997). The first cistern was dug in the Middle and Late Bronze Age, about 2200 to 1200 BC. The rainwater that was collected in them during the short rainy season would be enough for at least one dry season. Ennabli (1993) claimed that this technique has been used during the pre-Roman and Roman eras for the collection and distribution of spring waters. Carthage received its drinking water from the Djebel Zaghouan via an aqueduct of 50 km, collected in a cistern of 50,000 m<sup>3</sup>. The same procedure was also applied in other big towns such as Kef, Sbeitla, Tebourba, and Sousse. The collection of rainfall water accelerated with the arrival of the Arabs. More than 200 big cisterns are found in the central region of the country. The most famous one is that of Aghlabit in Kairouan, which was built in the nineteenth century, with a total capacity of 58,000 m<sup>3</sup>. The use of cisterns also contributed to the development of large-scale livestock husbandry in areas where groundwater is not available because of quantity or quality constraints. It was estimated that 10 to 16 million m<sup>3</sup> per year could be mobilised by this type of hydraulic infrastructure (Ennabli, 1993). While studying a micro-catchment in the region of Beni Khedache, found that the cistern water is not fully exploited. Through a cost benefit analysis simulation, they showed that the stored water in cisterns has a high potential for improving the farming system and incomes of jessour-based agriculture by practising supplemental irrigation and/or small-scale full irrigation speculations under green houses (Sghaier et al., 2001). In the rangelands of Dahar, selling of cistern water is a widespread and attractive practice, especially during summer periods. Cisterns were traditionally used to provide drinking water. Runoff water is collected and stored in stone-faced underground small or large size cisterns, called majel and fesquia. It is estimated by Ennabli (1993) that a tank of 35 m<sup>3</sup> capacity can meet the annual water needs of a family and its livestock. Small private or communal cisterns (5 to 200 m<sup>3</sup>) and big cisterns (up to 70,000 m<sup>3</sup>) are found throughout the water deficient zone under the 400 mm isohyet. There are numerous old and new cisterns in Tunisia. The water is used for different purposes including domestic consumption, irrigation and for livestock. Cisterns are indigenous, subsurface reservoirs with a capacity ranging from 10 to 1,000 m<sup>3</sup>. Many small and big, private and communal cisterns, mainly built during the Roman and Arab-Muslim eras, can be found throughout the arid zones of Tunisia. They increase the availability of water for multipurpose use (drinking, animal consumption, supplementary irrigation) in remote areas. A cost-benefit analysis showed that the stored water has high potential for improving the farming system and incomes of jessour-based

Gaaloul et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

agriculture (Ouessar in Taamallah et al., 2010). A cistern is a whole dug in the soil with a gypsic or cement coating to avoid vertical and lateral infiltration. Generally, each unit is made of three main components, the impluvium, the decantation basin, and the storage and pumping reservoir (Ouessar et al.,2002). In many areas small cisterns are dug in the rock. Larger cisterns are lined with compacted earth, clay, mortar coating, concrete or plastic sheets to avoid seepage. Runoff is collected from an adjacent catchment or channeled from a distant catchment. Problems include the cost of construction, limited capacity, sediments, and sources of pollutants from the catchment.

Basically, a cistern is a hole dug in the ground with gypsum or concrete coating to avoid vertical and lateral infiltration. Each unit is made of three main parts, the impluvium, the sediment settlement basin, and the storage reservoir. The impluvium is a sloping piece of land delimited by a diversion channel (hammala). In the flat areas, where it is possible also to exploit the floods via a diversion dyke, one also finds artificially paved runoff areas. A small basin before the entrance of the cistern allows the sedimentation of runoff loads. It improves the stored water quality and contributes to the reduction of maintenance costs. Big cisterns have, in addition to the storage compartment, a pumping reservoir from which water is drawn. A cistern is a sub-surface water collection and storage structure, generally dug at the lowest level of a small catchment. To be effective, a cistern should have an adequate catchment to generate runoff under whatever rainfall conditions are expected, a suitable underlying geological formation, and should make efficient use of stored water. The first runoff from the catchment is usually diverted away; only the subsequent (cleaner) flow is allowed to enter the cistern. A ditch disposes of the surplus water at downstream through an outlet. The water from the cistern is extracted manually by bucket or hand pump (Ali et al., 2009)

Terraces or contour benches: Contour-bench terraces are constructed on very step slopes to combine soil and water conversation with water harvesting techniques. The terraces are usually provided with the drains to release excess water safely. The historic bench terraces in Tunisia are good example of this system. The terraces are used for cultivation of fruit trees (olive, fig, almond, date palm, etc.), legumes (pea, chickpea, lentil, broad bean, etc.) and cereals (barley, wheat). It is practiced in the inter mountain and hill water courses to intercept runoff and sediments. The contour benches are earth embankments built along contour lines, perpendicular to the slope, to intercept and store runoff water. They improve infiltration locally. The benches also reduce both the length of slope susceptible to runoff and the runoff velocity, which remains below the critical threshold of gully erosion. They are increasingly built with earthmoving machines and are referred to as machine-made benches. There are two types of erosion control benches: total retention benches and diversion benches, the former being the most common. In Tunisia, these structures have been considered to be effective in regions where rainfall is rare, brief and very intense, falling on dry soil with low permeability. (Nahal, 1975). Contour bench terraces are constructed on land with steep slopes of 20-50%. This technique combines soil and water conservation with water harvesting. Cropped terraces are usually built to be level, and supported by stonewalls to slow down runoff and control erosion. Terraces may be used in areas where the annual rainfall is between 200 and 600 mm. The construction can be done manually or using heavy machines. Construction costs and labor requirements for maintenance are high. If catchment surfaces are left bare, erosion may become a problem. On milder slopes of 10% or less with deeper soils, conservation bench terraces might be the best technique among the contour terrace types. Unlike contour bench terraces, there are no supporting stone walls constructed due to lower land slope (Oweis et al., 2012)

Gabion check dam: These units are made of wire mesh cages filled with rock, and are constructed in wadi beds in order to divert water directly to the neighboring fields, often located within the wadi itself. These structures are made of blocks of galvanized nets (gabion) filled with rocks. They are built in the wadi beds. In general, they have the form of a rectangular spillway. The technology of check dam is a technique consisting of binding different gabion cages filled with small stones together to form a complete flexible gabion unit. In order to slow down the water flow in the wadi courses and improve its infiltration into deeper soil layers and geologic formations, small check dams are installed on the wadi beds. They are usually positioned in series, with a spacing of 100-500m. These dams are made of gabion. The gabion technique has been first introduced in the civil engineering domain. They are largely used since then and found many applications. A gabion is a cage which has a cubic shape filled with stony material of suitable diameter enclosed in metal grating keeping the stones together and stops them from moving under the pressure of water. The gabion is normally the name of the cage only but it is also used frequently for the whole structure itself. The technique of gabion check dam consists in binding different cages together to form a complete gabion unit. The average height varies from 1 to 4 m and its length is a function of the width of the wadi bed (Royet, 1992).

**Recharge:** Water harvesting is practiced in many ways to solve the various water needs of people living in the dry areas. Some of the techniques are used solely to provide water for plant production, while the others are used to provide water for human and animal consumption or for groundwater recharge. Recharge wells are casting tubes drilled into the underlying bedrock – when of very low permeability – enhancing the infiltration of runoff water to the ground water table. This technique was adopted only recently in Southeastern Tunisia. When the permeability of the underlying bedrock is judged

Gaaloul et al./ [ISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

to be very low, casting tubes, known also as recharge wells, could be drilled in to enhance the infiltration of runoff water to the aquifer. Artificial aquifer is replenished each year and water will be available in the sandy aquifer during the dry season (Hoogmoed, 2007; Borst et al., 2006; Quilis et al., 2012). In Tunisia artificial recharge has been used effectively for the storage of harvested flood water. Tunisia has experience in the artificial recharge of aquifers since early 1956 (Cary et al., 2012: Gaaloul et al., 2017: Gaaloul et al., 2014: Sales et al., 2017). Currently, there exist more than 64 recharge zones of 23 aguifers. Since 1958, Tunisia has started the artificial recharge technique. Generally, surface water is used in artificial recharge, by dam's lake and underground dam infiltration, crossing the riverbed infiltration, injection wells, or infiltration basins. Several experiments of recharge by surface water were established, especially in the Teboulba aquifer from 1970. Artificial recharge of the Grombalia aquifer was set during the 1975-1978 period at Oued Sidi Said station by three infiltration basins. From 1988, artificial recharge of the Kairouan aquifer is done by infiltration in riverbed from the El Houereb and Sidi Saad dams. In Menzel Bouzelfa region, artificial recharge was performed by injection of surface water in three wells since 1990. In 1986, the ground water artificial recharge by treated wastewater at the experimental station in Nabeul Oued Souhil (Irrigation efficiency) is the first pilot project in this field. Besides reclaimed water reuse for agricultural purposes, seasonal recharge of the shallow and sandy aquifer of Nabeul Oued Souhil has been performed since 1985. In 2008, a new pilot site was established in the region of Korba-Mida (Recharge aguifer and seawater intrusion) to recharge the aquifer with domestic treated wastewater of the Korba (Gaaloul et al., 2012; 2013; 2015). The aim was a better evaluation of the mixing processes between seawater, groundwater bodies and the new recharge contributor, and of the changes due to intense groundwater withdrawal, which will be useful from a water resource management perspective aimed at controlling human interference on the Korba plain groundwater. Korba aquifer (northeast Tunisia) is one of typical example of coastal aquifer in semi-arid regions that have been intensively overused during the last years.

#### CONCLUSION

Tunisia is a marginal country hydrologically and it has adopted a number of distinctive of traditional water management for agriculture. Tunisia contains three different climate zones: Mediterranean, semi-arid and arid, which experience differing water availability. Due largely to these differences in potential water resources, there exist a number of distinctive methods of water management for agriculture. Water resources in Tunisia are characterized by scarcity and a pronounced irregularity. Tunisia has been able to develop a complex and diverse water infrastructure allowing the country to mobilize and exploit available water resources. The various installation hydraulics through the history be the old man stopping in stone allot with Roman (it be the case in the oasis of Gabes) and the system of harvest of rainwater in Kairouan. In the south of Tunisia, the inhabitants built a fortress (ksar) on the most inaccessible site in the area, and used it to store the local population's food reserves. The fortress was protected by outlying posts and an early alarm system. At the same time, the town's residents developed water harvesting techniques (earthern dikes or jessour, and cisterns) for the mobilization and use of rainfall and runoff waters. These water harvesting systems are still in use today.

The jessour, built in the intermountain runoff courses, capture water and silt and create terraces where fruit trees and annual crops are cultivated. The cisterns, locally known as majen or fasquia, are small to medium (I to 50 m3) subsurface reservoirs where rainfall and runoff are stored for domestic uses, livestock watering and occasional supplemental irrigation. The water-harvesting techniques are well adapted to the physical and social environment in which they are used. These techniques have various functions, such as water supplementation, flood prevention, water table recharge and water and wind erosion control. Water Harvesting, conservation and recharge, defined as the collection of runoff and its use for the irrigation of crops, pastures and trees, and for livestock consumption. The common goal of all forms is to secure water supply for annual crops, pastures, trees and animals in dry areas.

In the past, water harvesting was the backbone of agriculture in arid and semi-arid areas world-wide. After a decline, it gained new interest during past decades. Its future role will be as a linking element between rainfed agriculture, soil and water conservation and irrigated agriculture, still using untapped water resources in arid lands, alleviating slightly the stress on drought-ridden farmers and communities. Surface storage of water is unfeasible so communities practice traditional rainwater harvesting within small hillside catchments or oasis irrigation using artesian water. The dry areas on Tunisia very rich in traditional, ancient water-harvesting systems. These must have been built on a sound foundation of indigenous knowledge. Such traditional knowledge should be utilized in order to develop new practices, or to improve the efficiency of existing ones. Tunisia is a marginal country hydrologically and it has adopted a number of distinctive methods of water management for agriculture. The central region supports modern dam irrigation, whilst traditional rainwater harvesting is practiced in the south. Analysis indicates that traditional water management advantageously partitions the continuum dividing hazards and resources through subtle manipulation of the environment.

Gaaloul et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

#### **REFERENCES**

- Ali, A., Oweis, T., Salkini, AB., and El-Naggar, S. (2009) Rainwater cisterns: traditional technologies for dry areas. ICARDA, Aleppo, Syria. iv + 20 pp.
- Asano, T., (1985) Artificial Recharge of Groundwater. Butterworth Publishers, 767 pp. Bosten. USA.
- ASCE (2001) Standard Guidelines for Artificial Recharge of Ground Water, Environmental and Water Resources Institute, American Society of Civil Engineers (ASCE), EWRI/ASCE 34-01, USA.
- Alaya, K., Viertmann, W., and Waibel, Th. (1993) Les tabias. Imprimerie Arabe de Tunisie, Tunis.
- Borst, L. and de Haas, S.A. (2006) Hydrology of Sand Storage Dams: A Case Study in the Kiindu Catchment, Kitui District, Kenya. Master Thesis of Hydrogeology, VU University, Amsterdam.
- Bear, J., Cheng, A.H.D., SorekK, S., Ouazar, D. and Herrera, I. (1999) Seawater Intrusion in Coastal Aquifers Concepts, Methods and Practices. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Barrow, C.I. (1999) Alternative Irrigation. The Promise of Runoff Agriculture. Earthscan Publications Limited, London.
- Ben Mechlia, N., Oweis, T., Masmoudi, M., Khatteli, H., Ouessar, M., Sghaier, N., Anane, M., and Sghaier, M. (2009)
  Assessment of supplemental irrigation and water harvesting potential: methodologies and case studies from Tunisia.
  ICARDA, Aleppo, Syria. iv + 36 pp.
- Ben Mechlia, N., and Ouessar, M. (2004) Water harvesting systems in Tunisia. In: Oweis, T., Hachum, A., Bruggeman, A. (eds). Indigenous water harvesting in West Asia and North Africa, , ICARDA, Aleppo, Syria, pp: 21-41.
- Beni-Akhy, R., (1998). Etude des impacts anthropiques sur les eaux souterraines du Sahel oriental tunisien : caractérisation hydrogéologique, modélisation mathématique et cartographie de la vulnérabilité environnementale. PhD. Thesis, Tunis University. Tunisia.
- Bouwer, H. (2002) Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering, Hydrogeology Journal, Vol. 10, pp.121–142.
- Boufaroua, M. (2002). Evolution des techniques de conservation des eaux et des sols en Tunisie. Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques. p : 625-635.
- Boufaroua, M., El Mourid, M., and Ben Khalifa.W. (2001) Techniques de Conservation des Eaux et des Sols dans les zones arides et semi-arides de la Tunisie.
- Cary L., Casanova J., Gaaloul N., Guerrot C. (2013) Combining boron isotopes and carbamazepine to trace sewage in salinized groundwater: a case study in Cap Bon, Tunisia. Applied chemistry, 34, 126-139.
- Chahbani, B. (1990). Contribution à l'étude de la destruction des jessour dans le sud Tunisien. Revue des régions arides. pp.137-172
- CGWB (Central Ground Water Board) (1994). Manual on Artificial Recharge of Ground Water. Technical Series-M, No. 3. Ministry of Water Resources, Government of India, 215 pp.
- El Amami, S. (1977). Traditional technologies and development of the African environments. Utilisation of runoff water: the Meskat and other techniques in Tunisia. African Environment, 3:107-120.
- El Amami, S. (1982) The traditional hydraulic structures in the Maghreb. Arab Center for Studies on Arid Lands (ACSAD), Damascus, Syria, 35pp + Annexes.
- El Amami, S. (1984) Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie. Centre de Recherche du Génie Rural (CRGR), Tunis, Tunisia 70p.
- El Amami, S. (1986) Traditional versus modern irrigation methods in Tunisia. In Goldsmith E and Hildyard N (eds) The Social and Environmental Effects of Large Dams. Vol. 2, Wadebridge Ecological Centre, Cornwall, 184-188.
- Ennabli, N. (1993) Les aménagements hydrauliques et hydro-agricoles en Tunisie. Imprimerie Officielle de la République Tunisienne, Tunis, 255 pp.
- FAO, (2002) Water Harvesting, A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production . Critchley, W., Siegert, K., Chapman, C. and Finkel, M. FAO publication AGL/MSC/17/91. Available on line at: http://www.fao.org/docrep/U3160E/U3160E00.htm.
- Finkel, H. J., and Finkel, M. (1986) Engineering Measures: Water Harvesting. In: Finkel H.J., M.Finkel and Z.Naveh, Semi-arid Soil and Water Conservation. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida: USA,p.93-101.
- Gasmi, I., Moussa, M., and Rejeb, H. (2014) The Jessour: Wise traditional technique for water and soil Gabes). Journal of Social Science and Management, 4(4), 25-33.
- Gaaloul, N., Eslamian, S., and Laignel, B.,2017, Contamination of Groundwater in Arid and Semiarid Lands, Ch. 16 in Handbook of Drought and Water Scarcity, Vol. 2: Environmental Impacts and Analysis of Drought and Water Scarcity, Ed. by Eslamian S. and Eslamian F., Francis and Taylor, CRC Press, USA, 291-314.
- Gaaloul, N. and Eslamian, S., 2014, Artificial Recharge Experiences in Semiarid Areas, in Handbook of Engineering Hydrology, Ch. 2, Vol. 3: Environmental Hydrology and Water Management, Ed. By Eslamian, S., Francis and Taylor, CRC Group, USA, 17-49.
- Gaaloul, N., (2014) GIS-Based Numerical Modeling of Aquifer Recharge and Salt Water Intrusion in Arid South Eastern Tunisia. Journal Hydrology Engineering. 1084-0699,

Gaaloul et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

- Gaaloul, N., Candela, L., Soussi, A., and Tamoh K., (2013) Groundwater flow simulation at the Grombalia phreatic aquifer (Cap Bon, Northeastern Tunisia). Desalination and Water Treatment. doi: 10.1080/19443994.2013.821026 . I-12.1944-3994/1944-3986
- Gaaloul, N., Carry, L., Casanova, J., and Guerrot, C., (2012) Effect of artificial recharge by treated wastewater on the quality and quantity of the Korba-Mida coastal aquifer (Cap Bon, Tunisia). La Houille Blanche. Revue Internationale de l'Eau. 4-5, 24-33.
- Gaaloul, N., Laignel, B., Nouacer, Z., and Habaieb, H. (2015) Impact des changements climatiques sur les eaux souterraines en Tunisie. Revue Géologues. Numéro 187. Décembre 2015. Impact du changement global sur les ressources en eau souterraine. http://www.geosoc.fr/actu/1147-dernier-numero-de-geologues-impact-du-changement-global-sur-les-ressources-en-eau-souterraine.html
- Gaaloul, N. (2011) Water resources and management in Tunisia, International Journal of Water, 6(1/2): 92–116. https://www.inderscienceonline.com/doi/pdf/10.1504/IJW.2011.043319
- Helweg, O.J. and Smith, G. (1978) Appropriate Technology for Artificial Aquifers. Groundwater, 16(3):144-148.
- Hill, J., and Woodland, W.A. (2003) Contrasting water management techniques in Tunisia: Towards sustainable agricultural use. The Geographical Journal, 169 (4), 342 357. ISSN 0016-7398 Available from: http://eprints.uwe.ac.uk/6195
- Hoogmoed, M. (2007) Analyses of impacts of a sand storage dam on groundwater flow and storage. Amsterdam, NL: Free University Amsterdam
- Hamza, M. and Khanfir, R. (1991) 'Evaluation du potentiel et de l'exploitation des ressources en eau souterraine de la Tunisie (Nappes phréatiques et profondes)', Ressources en eau de la Tunisie, Vol. 1, No. 12, pp.50–61.
- John, S., Kijne, J.W., Attia, F.A.R., El-Shaer, H., Himida, I., Zouari, K., Gaaloul, N., Jamal, M., Arslan, A., Dayoub, K., Fardous, A.N., Mudabber, M., Jitan, M. and Badwan, R. (2006) Prospects for Productive Use of Saline Water in West Asia and North Africa, Comprehensive Assessment Research Report 11, p.54.
- Kallel, R. (1995) La situation pluviométrique et hydrologique en Tunisie, Direction Générale des Ressources en Eau.
- Mamou, A. (1993) 'Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau en Tunisie', Direction Générale des Ressources en Eau, No. I, pp.12–35.
- Malekian Jabali, M., Okhravi, S., Eslamian, S., Gohari, S. (2017), Water Conservation Techniques, Ch. 27 in Handbook of Drought and Water Scarcity, Vol. 2: Environmental Impacts and Analysis of rought and Water Scarcity, Ed. by Eslamian S. and Eslamian F., Francis and Taylor, CRC Press, USA, 501-520.
- Nahal, I. (1975) Principes de conservation du sol. Collection de géographie applicable, Masson, Paris, France.
- Oweis, T.Y., Prinz, D., and Hachum, AY. (2012) Water Harvesting for Agriculture in the Dry Area.. ICARDA, CRC Press/Balkema, Leiden, the Netherlands.266p.
- Oweis, T., Hachum, A. and Bruggeman, A. (eds.) (2004). Indigenous Water Harvesting Systems in West Asia and North Africa. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Aleppo, Syria.
- Ouessar M., (2007) Hydrological impacts of rainwater harvesting in wadi Oum Zessar watershed (Southern Tunisia). Ph.D. thesis, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Ghent, Belgium, 154 pp.
- Ouessar, M., Tâamallah, H., and Ouled Begacem, A. (2006) Un environnement soumis ‡ des fortes contraintes climatiques. In : Genin D., Guillaume H., Ouessar M., Ouled Belgacem A., Romagny B., Sghaier M., T, amallah H. (eds.). Entre désertification et développement : la Jeffara tunisienne. Tunis : CÈrEs Èditions.p. 23-32
- Ouessar, M., Sghaier, M., and Fetoui, M. (2002) A Comparison of the Traditional and Contemporary Water Management Systems in the Arid Regions of Tunisia. UNU-UNESCO-ICARDA Joint International Workshop on Sustainable Management of Marginal Drylands, Application of Indigenous Knowledge for Coastal Drylands, Alexandria, Egypt.
- Oaksford, E.T. (1985) Artificial Recharge: Methods, Hydraulics, and Monitoring, In: Artificial Recharge of Groundwater, T. Asamo, editor. Butterworth Publishers, Boston, USA. pp. 69-127.
- Omrani, N., and Ouessar, M. (2008) Historical and contemporary perspectives of water culture in Tunisia in El Moujabber M. (ed.), Shatanawi M. (ed.), Trisorio-Liuzzi G. (ed.), Ouessar M. (ed.), Laureano P. (ed.), Rodríguez R. (ed.) .Water culture and water conflict in the Mediterranean area Bari: CIHEAM Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 83.2008.pages 75-84
- Pacey, A., and Cullis, A. (1986) Rainwater Harvesting: the collection of rainfall and runoff in rural areas. Intermediate Tech. Pub., London. UK.
- Souissi, A. (2001) Tunisia, Environment and Sustainable Development Issues and Policies, Le Plan Bleu, Sophia Antipolis, pp.7–9.
- Sales, J., Tamoh, K., López, J., Galooul, N., and Candela, L. (2017) Controlling seawater intrusion by treated wastewater recharge. Numerical modelling and cost-benefit analysis (CBA) at Korba case study (Cap Bon, Tunisia). Desalination and water treatment. Vol. 76, p. 184-195. DOI: 10.5004/dwt.2017.20419. Journal article. http://www.deswater.com/vol.php?vol=76&oth=76%7C0%7CMay%7C2017
- Sghaier, M., and Chahbani, B. (2001) Simulation on improvements of the traditional jessour systems and their impact on farm income in arid zones of Tunisia: case of the micro-watershed of Ksar Jouannaa. ICARDA, Aleppo. Syria.
- Todd, D.K. (1980) Groundwater Hydrology. Second Edition. John Wiley & Sons, New York, 535 pp.

Gaaloul et al./ JISTEE, Vol. (v), No. 1, September 2020, pp. 150-164

- Taamallah, H. (2010) Gestion durable des terres en Tunisie: bonnes pratiques agricoles. Land Degradation Assessment in Drylands (FAO-LADA), World Overview of Conservation Approaches and Technologies and Institut des Régions Arides, Médenine. Tunisia.
- Rahman, A., Hajani, E., Eslamian, S., (2017), Rainwater Harvesting in Arid Regions of Australia, Ch. 26 in Handbook of Drought and Water Scarcity, Vol. 2: Environmental Impacts and Analysis of Drought and Water Scarcity, Ed. by Eslamian S. and Eslamian F., Francis and Taylor, CRC Press, USA, 489-500.
- Royet, P. (1992) Les ouvrages en gabion. 160 p. Éditeur scientifique ; CEMAGREF
- Quilis, R.O., Hoogmoed, M., Ertsen, M., Foppen, J.W., Hut, R. and de Vries, A. (2012) Measuring and modeling hydrological processes of sandstorage dams on different spatial scales. J. Phys. Chem. Earth., 34(4): 289–298. http://tudelft.academia.edu/MauritsErtsen/Papers/1461726/.
- WOCAT (World Overview of Conservaton Approaches and Technologies). (2012) WOCAT Database: Technologies. http://cdewocat.unibe.ch/wocatQT/index.php.
- Wahlin, L. (1997) The family cistern: 300 years of household water collection in Jordan. In: Ethnic encounter and culture change (M'hammed S M and Vikør KS, eds). Papers from the 3rd Nordic conference on Middle Eastern Studies, Joensuu in the Finnish Karelia, 19-22 June 1995, Centre for Middle Eastern and Islamic Studies, University of Bergen, Norway. C. Hurst & Co (Publishers) Ltd., London, UK.



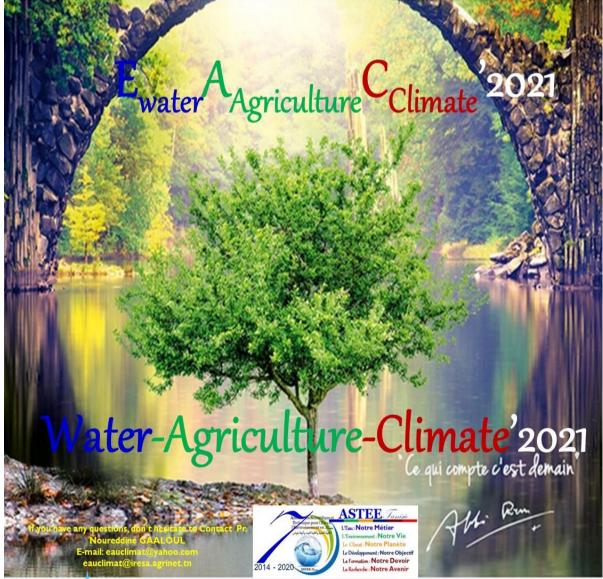


From 4 to 9 November 2021 Hammamet (Tunisia)



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

https://my.editions-ue.com/catalogue/details/fr/978-613-9-57238-0/seawater-intrusion-into-coastal-aquifer-and-climate-change

https://www.amazon.fr/Seawater-Intrusion-Coastal-Aquifer-Climate/dp/613957238X



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

Page 167





## Volume (I): Eau-Climat'2014 (EC-2014) / Water-Climate'2014 (EC-2014)

Numéro I – Avril 2014 : Ressources en Eaux de Surface en Région Méditerranéenne Surface Water Resources in the Mediterranean Region.

Numéro 2 – Août 2014 : Ressources en Eaux Souterraines en Région Méditerranéenne Ground Water Resources in the Mediterranean Region.

Numéro 3 – Décembre 2014 : Changements Climatiques en Région Méditerranéenne Climate Change in the Mediterranean Region

## Volume (II): Eau-Société-Climat'2017 (ESC-2017) / Water-Society-Climate'2017 (ESC-2017)

Numéro I – Février 2017 : Caractérisation qualitative et quantitative des ressources en eau Qualitative and quantitative characterization of water resources.

Numéro 2 – Avril 2017 : 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 :Vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques Vulnerability of Water Resources to Climate Change.

Numéro 4 – Août 2017 : 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 : Modélisation Numérique en Hydraulique, Hydrologie et Hydrogéologie

Numerical Modeling in Hydraulics, Hydrology and Hydrogeology

## Volume (III): Eau-Environnement-Climat'2018 (E2C-2018) / ater-Environement-Climate'2018 (E2C-2018)

Numéro I – Avril 2018 : Gestion des Ressources en Éau Water Resources Management. Numéro 2 – Août 2018 : Sciences de l'Environnement Environmental Earth Sciences.

Numéro 3 – Décembre 2018 : Changement Climatique et Adaptation

Climate Change and Adaptation

## Volume (IV): Eau-Énergie-Climat'2019 (2EC-2019) / Water-Energy-Climate'2019 (E<sup>2</sup>C-2019)

Numéro I – Décembre 2019 : Gestion Intégrée des Ressources en Eaux Integrated Water Resources Management.

Numéro 2 – Décembre 2019 : Énergies Renouvelables Et changements climatiques Renewable Energies and climate change

## Volume (V): Eau-Climat'2020 / Water-Climate'2020

Numéro I – Septembre 2020 : Ressources en Eaux et Changements Climatiques Water Resources and Climate Change.

Numéro 2 – Décembre 2020 : Gestion Intégré des Ressources en Eau et Changement Climatique Integrated Water Resources Management and Climate Change

Copyright © 2020 – Jistee Tous droits réservés

Page 168