

# JOURNAL INTERNATIONAL

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

ISSN (electronic): 1737-9350

ISSN (printed): 1737-6688

Volume 2 - Numéro 4 – Août 2017

### Eau-Société-Climat'2017



**Ressources en Eau et Changement Climatique:  
Impacts anthropiques et climatiques sur la  
variabilité des ressources en eau**

Modélisation de l'impact des changements anthropiques et climatiques sur les ressources en eau

Rédacteur en Chef : Pr Nouredine Gaaloul

Publié par :

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

"وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ"

سورة الأنبياء آية 30

# Comité Scientifique International

<i>Hamadi Habaieb</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Noureddine Gaaloul</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Zouhaier Nasr</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Taoufik Hermassi</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Zohra Lilli</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INAT (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Mechergui</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INAT (Tunisie)</i>
<i>Jamila Tarhouni</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INAT (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Habib Sellami</i>	<i>Université de Jendouba -IRESA- ESIER (Tunisie)</i>
<i>Hechmi Belaid</i>	<i>Université de Jendouba -IRESA- ESIER (Tunisie)</i>
<i>Nagaz Kamel</i>	<i>Université de Sfax- IRA (Tunisie)</i>
<i>Kamel Zouari</i>	<i>Université de Sfax- ENIS (Tunisie)</i>
<i>Salwa Saida</i>	<i>Université de Manar FST (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Meddi</i>	<i>ENSH, (Algérie)</i>
<i>Ahmed Kettab</i>	<i>ENP, (Algérie)</i>
<i>Azzedine Hani</i>	<i>Université de Annaba (Algérie)</i>
<i>Mohammed Achite</i>	<i>Université de Chlef (Algérie)</i>
<i>Larbi Djabri</i>	<i>Université de Annaba (Algérie)</i>
<i>Abdelhalim Yahiaoui</i>	<i>Université de Bechar (Algérie)</i>
<i>Mohamed Bessenasse</i>	<i>Université de Saad Dahlab- Blida (Algérie)</i>
<i>Abdessamad Merzouk</i>	<i>Université de Tlemcen (Algérie)</i>
<i>Belkacem Bekkoussa</i>	<i>Université Mustapha Stambouli de Mascara (Algérie)</i>
<i>Guendouz Abdelhamid</i>	<i>Université de Blida I (Algérie),</i>
<i>Benabadj Noury</i>	<i>Université de Tlemcen ( Algérie),</i>
<i>Nadia Machouri</i>	<i>Univ. Mohammed V (Maroc)</i>
<i>Abdelmajid Moumen</i>	<i>Université Nadour (Maroc)</i>
<i>Mhamed Amyay</i>	<i>Université de Fès (Maroc)</i>
<i>Abdelaziz Abdallaoui</i>	<i>Université Moulay Ismail (Maroc)</i>
<i>Saeid Eslamian</i>	<i>Université de. Isfahan (Iran)</i>
<i>Diop Ngom Fatou</i>	<i>UCAD FST (Sénégal)</i>
<i>Sousou Sambou</i>	<i>Univ. Cheikh Diop (Sénégal)</i>
<i>Soro Nagnin</i>	<i>UFR STRM (Cote d'Ivoire)</i>
<i>Gil Mahé</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>Didier Orange</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>Sabine Sauvage</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>José Sánchez-Pérez</i>	<i>CNRS (France)</i>
<i>Christan Leduc</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>Luc Descroix</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>Jean-Denis Taupin</i>	<i>IRD (France)</i>
<i>Jean-Francois Vernoux</i>	<i>BRGM (France)</i>
<i>Dhafer Abbas</i>	<i>ISL Ingénierie (France)</i>
<i>Sami Lallahem</i>	<i>Société Ixsane – Lille (France)</i>
<i>Amjad Aliawi</i>	<i>Water Research Center, Kuwait Institute for Scientific Research (Kuwait),</i>

## Préface



L'eau est une source indispensable à la vie. Elle est essentielle au développement industriel et agricole des sociétés humaines. Depuis que l'homme existe, il cherche à développer ses ressources en eau et garantir ses réserves en cette matière vivante notamment en la stockant, et à en améliorer la qualité, en la purifiant.

L'agriculture représente 70% des prélèvements par les secteurs agricole, municipal et industriel (y compris l'énergie). L'utilisation de l'eau dans l'agriculture peut représenter plus de 90% dans les pays où les aliments ne peuvent être produits sans eau (irrigation). Selon FAO une augmentation de 50% de la demande alimentaire en 2050 par rapport à 2006. Il est clair que, même avec l'utilisation de l'eau la plus efficace en l'agriculture, il faudra encore plus d'eau pour produire les aliments supplémentaires nécessaires en particulier pour ceux qui souffrent de l'insécurité alimentaire.

Dans le même temps, les changements climatiques devraient avoir un impact massif sur la disponibilité de l'eau en modifiant radicalement les régimes hydrologiques à travers le monde. Si ils ne sont pas traités correctement et en temps opportun, les conflits sur l'eau entre les secteurs, entre les personnes peuvent déclencher des conflits, menacer la sécurité alimentaire et augmenter les migrations. Une gestion responsable de l'eau agricole contribuera de manière importante à la future sécurité mondiale de l'eau. En effet, une gestion responsable est nécessaire dans chacun des secteurs utilisant de l'eau, même s'ils utilisent moins. Les effets attendus des changements climatiques sur le secteur agricole varient selon les régions et ne doivent pas pour autant inquiéter. L'adaptation doit être adoptée comme solution face à ces changements et aux différents problèmes qu'ils vont provoquer. Il faut s'adapter d'une manière progressive et augmenter la capacité d'adaptation par l'usage des technologies, le développement des infrastructures, du capital social, la promotion de la gouvernance, des connaissances et des compétences, outre la gestion des risques liés aux changements climatiques. Ainsi l'agriculture pourrait être modifiée à cause de plusieurs facteurs : les changements des températures, le niveau de l'humidité, des rayonnements ultraviolets, le niveau de CO<sub>2</sub>, la présence d'animaux et d'insectes nuisibles ainsi que des maladies, la dégradation du sol et la sécheresse. Parmi ces problèmes figurent aussi la désertification, le surpâturage, la déforestation, la prolongation des périodes de sécheresse et la diminution des périodes de grandes précipitations.

Les conséquences des changements climatiques sont principalement : l'élévation du niveau de la mer et l'érosion, l'inondation des terres agricoles, des zones habitées et celles côtières, la salinité de l'eau souterraine. Les stratégies visant à réduire la pénurie d'eau au niveau sectoriel doivent être basées sur une compréhension approfondie du bilan hydrique, y compris les approvisionnements et les demandes en eau et leurs dimensions spatiales et temporelles. Le dialogue entre parties prenantes, la planification et / ou l'alignement entre planifications sont presque impossibles si les parties prenantes travaillent avec leurs propres systèmes d'information différents.

Tandis que les politiques d'atténuation s'attaquent aux causes des changements climatiques, les mesures d'adaptation sont destinées à aider les populations à surmonter les conséquences de ces changements. L'adaptation consiste à adopter des politiques et des pratiques pour préparer les populations aux effets des changements climatiques, en acceptant le fait qu'il est désormais impossible de les éviter complètement.

Les questions suivantes sont proposées à la discussion :

- *Comment la comptabilité de l'eau peut-elle aider à planifier les investissements et la répartition de l'eau entre les secteurs ?*
- *La comptabilité de l'eau peut-elle aider à gérer la pénurie d'eau pour l'agriculture ? Expériences à partager ?*
- *Comment développer les capacités humaines sur l'utilisation de la comptabilité de l'eau pour la gestion et la planification ?*
- *Peut-on survivre avec la salinité des eaux ?*
- *Peut-on penser l'adaptation aux changements climatiques ?*
- *Effets du changement climatique sur les ressources en eaux ?*
- *Impact du changement climatique sur les ressources en eaux ?*

**Nouredine Gaaloul**  
**Professeur de l'Enseignement Supérieur Agricole (INRGREF)**  
**Président de l'ASTEE *Tunisie***  
**Président et Coordinateur ESC-2017**

## Sommaire

<b>Modélisation de l'impact des changements anthropiques et climatiques sur les ressources en eau</b>	6
<b>Noureddine Gaaloul</b> (Université de Carthage -INRGREF, IRESA - Tunisie) <i>Impact anthropique et climatique sur les eaux souterraines de la nappe côtière Côte orientale au Cap Bon au Nord-Est de la Tunisie</i>	7
<b>Boutaghane Hamouda</b> (Université Badji Mokhtar - Algérie) <i>Variabilité temporelle des précipitations sur le nord-est algérien</i>	13
<b>Mohamed Habib Sellami</b> (Université de Carthage-ESIM-IRESA, Tunisie), <i>Outils de quantification des impacts des activités anthropogéniques et du changement climatique sur les ressources en eau</i>	17
<b>Lina Bendjema</b> (Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen - Algérie), Kamila Baba-Ahmed, Bouanani Abderrazek <i>Caractérisation de la variabilité climatique : cas du bassin versant de mellah (nord-est algérien)</i>	23
<b>Jihane Ahattab</b> (Faculté des Sciences Semlalia - Maroc), Najat Serhir, El Khadir Lakhhal <i>Apport des SIG et des outils géostatistiques dans l'estimation des crues de projet</i>	27
<b>Elhadj Mokhtari</b> (Université de M'sila - Algérie), Belkacem Merzouk <i>Eude du transport solide à l'estuaire du bassin versant de la Soummam par le logiciel HEC-RAS</i>	31
<b>Chérifa Abdelbaki</b> (Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen - Algérie), Mustapha Chemidi, Yasser Kaddour <i>Apport des SIG et de la modélisation hydraulique dans la gestion d'un réseau d'AEP – Cas des localités de M'dig et Sidi Aissa, Tlemcen, Algérie.</i>	35
<b>Noura Slimani</b> (CNRS/MNHN, Muséum National d'Histoire Naturelle- Paris - France), Eric Guilbert, Moncef Boumaiza <i>Prévision les impacts du changement climatique sur <i>Aquarius cinereus</i> (Heteroptera: Gerromorpha) dans le nord de la Tunisie</i>	40



Modélisation de l'impact des  
changements anthropiques  
et climatiques sur les  
ressources en eau

## Impact anthropique et climatique sur les eaux souterraines de la nappe côtière Côte orientale au Cap Bon au Nord-Est de la Tunisie

Noureddine Gaaloul,

<sup>1</sup>Université de Carthage IINRGREF- IRESA. E-mail: [gaaloul.noureddine@iresa.agrinet.tn](mailto:gaaloul.noureddine@iresa.agrinet.tn)

### Résumé

L'objectif du présent travail de recherche est de dresser une synthèse des effets du climat sur les stocks et flux d'eau, de l'échelle globale et la prévision de l'impact de la recharge artificielle de la nappe phréatique côtière du Cap Bon par les eaux usées traitées au niveau du site de recharge (4 ha) de Korba El Mida. En effet, les changements climatiques (CC) constituent aujourd'hui, une menace potentielle majeure pour l'environnement et le développement durable. Les changements climatiques sont dus à la fois à la variabilité interne du système climatique et à des facteurs extérieurs (naturels et d'origine anthropique). Cette nappe côtière subit une surexploitation illustrée par l'accroissement du nombre de puits de 270 puits en 1962 à 9500 puits en 2017. La qualité des eaux de nappe est alors fréquemment dégradée par l'intrusion marine, l'infiltration des eaux d'irrigation ou les pollutions diffuses. Depuis les années 60, un suivi spatio-temporel qualitatif et un modèle de fonctionnement hydrogéologique des eaux souterraines ont mis en évidence que les prélèvements importants avaient généré une inversion du gradient hydraulique causant une intrusion saline. Sa surexploitation de la nappe de Côte orientale est illustrée par l'accroissement du nombre de puits de 270 (1962) à 12000 (2016). Elle a affecté la qualité de l'eau, dégradée aussi par l'infiltration des eaux d'irrigation et les pollutions diffuses ; elle a entraîné l'abandon des puits proches du littoral (5000 puits abandonnés en 2016). La qualité des eaux de nappe est alors fréquemment dégradée par l'intrusion marine, l'infiltration des eaux d'irrigation ou les pollutions diffuses. Des approches multidisciplinaires ont été utilisées pour étudier les conséquences de l'intrusion saline, combinant géophysique et hydrochimie. Plusieurs origines sont mises en jeu lors du processus de la salinisation des eaux souterraines de la nappe de Korba dont nous citons essentiellement l'intrusion marine, le retour des eaux d'irrigation, la nature lithologique des roches du réservoir et l'activité anthropique qui multiplie les sources de pollution hydrique. L'utilisation intense des engrais chimiques, au niveau des périmètres irrigués occupant une grande surface de la plaine côtière, contribue énormément à la nuisance de la qualité de la nappe.

**Mots-clés :** Anthropique, Changement climatique, Salinisation, Eaux souterraines, Korba- Mida, Tunisie

### Anthropic and climate change impact on the groundwater of the coastal water table Eastern coast : Cap Bon in the North-East of Tunisia

### Abstract

The Korba-Mida aquifer on the eastern coast of Cap- Bon (Tunisia) has undergone overexploitation since the 60's (270 wells) to 2011 (9500 wells), leading to reversal of hydraulic gradient and saline intrusion. Different processes often degrade water quality of groundwater: salt water intrusion, diffuse pollution. The coastal aquifer of the Plio-Quaternary is one of the first studied examples of groundwater depletion, seawater and salinization. Since the sixties, large quantities of water have been collected by the agricultural and the industrial sectors resulting in a spatiotemporal evolution of piezometric depletion and degradation of groundwater quality due to sea water intrusion. Artificial recharge of groundwater has been introduced as an alternative method to cope with the scarcity of water resources and with an accentuated variability of climate in space and time. Crucial for local agriculture, aquifer management led to the implementation of artificial recharge with treated wastewaters at the end of 2008. At vicinity of the recharge site, groundwater quality was monitored to trace the progression of artificial recharge in groundwater.

**Key Words:** boron isotope, Artificial recharge, Salinity, Korba-Mida, Tunisia

## Introduction

La Tunisie est caractérisée par un climat aride à semi-aride, dont les ressources en eau sont limitées et les besoins sont en augmentation. La mobilisation des ressources en eaux figure parmi les objectifs principaux du pays pour lutter contre la sécheresse et pour répondre aux besoins en eau de tous les secteurs de la société.

En effet, les changements climatiques (CC) constituent aujourd'hui, une menace potentielle majeure pour l'environnement et le développement durable. Les catastrophes d'origine hydro-climatiques émanant des changements climatiques constituent ainsi 79 % des catastrophes naturelles du XXe siècle. À l'échelle du globe, même si les effets du changement climatique (CC) sont perçus de manières diverses suivant les régions, les observations montrent une augmentation des températures et une modification du cycle pluviométrique. On note aussi des effets sur les hydrosystèmes : température de l'eau, débit des fleuves, niveau des nappes souterraines et de la mer. Afin d'étudier la relation entre les fluctuations climatiques et la variabilité hydrologique et de mettre en évidence l'impact de ces changements, il est nécessaire de disposer de données précises acquises sur le long terme (au minimum 30 ans). La température, les précipitations, le débit des fleuves et les niveaux piézométriques sont les paramètres les plus utilisés dans les différentes études menées sur le sujet car ce sont les données les plus mesurées et sur de longues périodes, par des mesures directes ou par satellite [1].

La zone méditerranéenne, reconnue comme zone de hot spot du CC, devrait connaître d'ici 2100 une hausse moyenne des températures de 3 à 4 °C, une baisse des précipitations et une augmentation des événements extrêmes. L'effet combiné du CC et de l'impact anthropique entraînerait une pénurie d'eau pour environ 290 millions de personnes. Les pays du Maghreb se trouvent dans une région aride à semi-aride. Les données climatiques relevées dans la région pendant le XXe siècle indiquent un réchauffement de l'ordre de 1°C, avec une tendance accentuée de réchauffement pendant les 40 dernières années et une augmentation nette de la fréquence des sécheresses et inondations. Ainsi, on est passé d'une sécheresse tous les dix ans au début du siècle à cinq à six années de sécheresse en dix ans actuellement. Les projections climatiques faites pour le XXIe siècle, y prévoient une accentuation du réchauffement et une réduction des précipitations moyennes :

- pour la Tunisie, à l'horizon 2050, une augmentation de la température moyenne de +1,8°C à +2,7°C et une baisse des précipitations moyennes de -10% à -30% [2] ;
- pour le Maroc, à l'horizon 2070, une augmentation de la température moyenne de +1°C à +3°C et une baisse des précipitations moyennes de -5% à -40%, [3,4] ;
- pour l'Algérie, à l'horizon 2020, une augmentation des températures de +0,6 à +1,1°C et une baisse des précipitations de l'ordre de -5 à -13% [5].

Par conséquent une stratégie nationale d'économie d'eau a été mise en place qui consiste à la réalisation des ouvrages hydrauliques. La réalisation des ouvrages hydraulique nécessite une bonne connaissance des apports liquides au niveau des bassins considérés pour cela on a recours à la modélisation hydrologique [1].

## 1. L'état des ressources en eau souterraine et impact de l'anthropisation en Tunisie

Les changements climatiques sont dus à la fois à la variabilité interne du système climatique et à des facteurs extérieurs (naturels et d'origine anthropique). La Tunisie est un pays aride à semi-aride sur les trois quarts de son territoire. Cela se caractérise par la rareté de ses ressources en eau et par une variabilité accentuée du climat dans l'espace et dans le temps. La Tunisie reçoit en moyenne un volume d'eau de 36 milliards de m<sup>3</sup>de précipitations annuelles. Ce pays, dispose de ressources conventionnelles et non conventionnelles relativement limitées. Elles sont évaluées à environ 5,125 milliards de m<sup>3</sup>/an, dont 2,7 d'eau de surface (53%), 2,175 d'eaux souterraines (43%) et 0,25 d'eau non conventionnelle (4%) [1].

Les nappes souterraines constituent une part importante des ressources en eau du pays (43 %), dont à peu près un tiers provient des nappes phréatiques (nappes libres peu profondes) : 753 millions de m<sup>3</sup> issus de 226 nappes phréatiques, 139 encore sous-exploitées (62%), 63 surexploitées (28%) et 24 exploitées à leur optimum (10%). Les 1 422 millions restant proviennent de 340 nappes profondes dont 650 millions de m<sup>3</sup> sont non renouvelables. Le nombre des puits profonds et forages est de 15 726. La surveillance piézométrique est assurée par la DGRE à partir de 2 172 ouvrages, dont 933 puits de surface, 1 169 piézomètres et 70 forages. Le nombre total des puits de surface est d'environ 147 000 (106 553 puits de surface équipés, 15 000 puits illicites) [1].

L'exploitation et l'intrusion marine dans la nappe de la Côte orientale

Situé dans le Nord-Est de la Tunisie, le Cap Bon a une superficie totale de 2830 km<sup>2</sup> (Fig 1). La péninsule du Cap Bon (ou l'ancienne « Bled Zriba ») est une région littorale de la Tunisie du Nord-Est qui se caractérise par ses traits physiques typiquement méditerranéens. Les sept aquifères du Cap Bon sont constitués par des sédiments du Quaternaire, reposant par endroits sur des formations détritiques du Pliocène. Ces nappes sont sollicitées pour l'irrigation et, depuis quelques années, surexploitées avec une ressource renouvelable estimée à 181 Mm<sup>3</sup>/an pour une exploitation évaluée à 249 Mm<sup>3</sup>/an [6].



La nappe côtière de la Côte orientale du Cap-Bon de Tunisie en est un exemple bien étudié [6,7,8,9,10]. Des approches multidisciplinaires ont été utilisées pour étudier les conséquences de l'intrusion saline, combinant géophysique et hydrochimie. L'aquifère est formé de formations du Plio-Quaternaire à structure lenticulaire, principalement constituées d'alluvions et colluvions, de sables, d'argiles et de croûtes calcaires et gypseuses. Le substratum imperméable d'âge mio-pliocène est de nature argileuse et argilo sablonneuse. Cette nappe est principalement utilisée pour l'irrigation de cultures maraîchères. Sa surexploitation est illustrée par l'accroissement du nombre de puits de 270 (1962) à 11500 (2015). Les ressources totales sont estimées à 50 Mm<sup>3</sup>/an et l'exploitation a dépassé 54 Mm<sup>3</sup>/an. L'invasion de l'eau de mer dans les terres atteint aux alentours de 3 km. Elle a affecté la qualité de l'eau, dégradée aussi par l'infiltration des eaux d'irrigation et les pollutions diffuses ; elle a entraîné l'abandon des puits proches du littoral (5000 puits abandonnés en 2015). Cruciale pour l'agriculture locale, la nécessité d'améliorer quantitativement et qualitativement les eaux de nappe a conduit à la mise en place d'une recharge artificielle au moyen d'eaux usées traitées provenant de la station d'épuration de Korba et dont le traitement final se fait par infiltration dans la zone non saturée (Soil Aquifer Treatment) depuis décembre 2008.

La première piézométrie de 1963 a montré que l'isopièze zéro occupait une surface de 8 km<sup>2</sup> (Fig 2). L'état piézométrique moyen 1963-1970 a élargi la courbe isopièze zéro à une surface de 20 km<sup>2</sup> (Fig 2) qui délimite deux cônes et est située à environ 4 à 5 km de la mer. Des valeurs négatives (surface de 10 km<sup>2</sup>) sont apparues durant la période 1970 - 1980, malgré la contribution des apports des périmètres irrigués à partir des eaux de surface de barrages. De 1980 à 1990, l'isopièze zéro apparaît en bordure de la mer (surface de 30 km<sup>2</sup>) et délimite presque la quasi-totalité de la zone agricole ; cela se traduit aussi par une disparition totale de l'alimentation de la sebkha par la nappe. Lors de l'état piézométrique moyen 1990-2000 l'isopièze zéro occupe une surface de 38 km<sup>2</sup> (Fig 2) avec des valeurs pouvant atteindre -5 m sous le niveau de la mer. En 2004, la surexploitation est évaluée à 135%. Sur la période 2000-2010, l'isopièze zéro occupait une surface de 45 km<sup>2</sup> (Fig 2) et durant les cinq dernières années (2010-2015), la situation s'est encore dégradée.

La première carte de salinité de 1963, montre que les eaux de la zone qui longe la côte ont des concentrations en sels relativement faibles, ne dépassant pas les 2 g/L. La bonne qualité des eaux à proximité de la mer s'explique par la présence du cordon dunaire du Tyrrhénien qui favorise l'infiltration des eaux de pluie. Durant les années 1960 à 1970, la salinité moyenne a évolué de 3 à 5 g/L, puis, entre 2 et 7 g/L, pendant les années 1970 à 1990 et jusqu'à 10 g/L durant la période 1990-2000 avec certains piézomètres pouvant atteindre 22 g/L. La salinité étant plus prononcée le long de la côte, de nombreux puits peu profonds y ont été abandonnés (2 873 au total). La salinisation de la nappe provient essentiellement de l'intrusion marine, de la lithologie de l'aquifère (sols salés) et des eaux d'irrigation résultant de la forte productivité agricole.

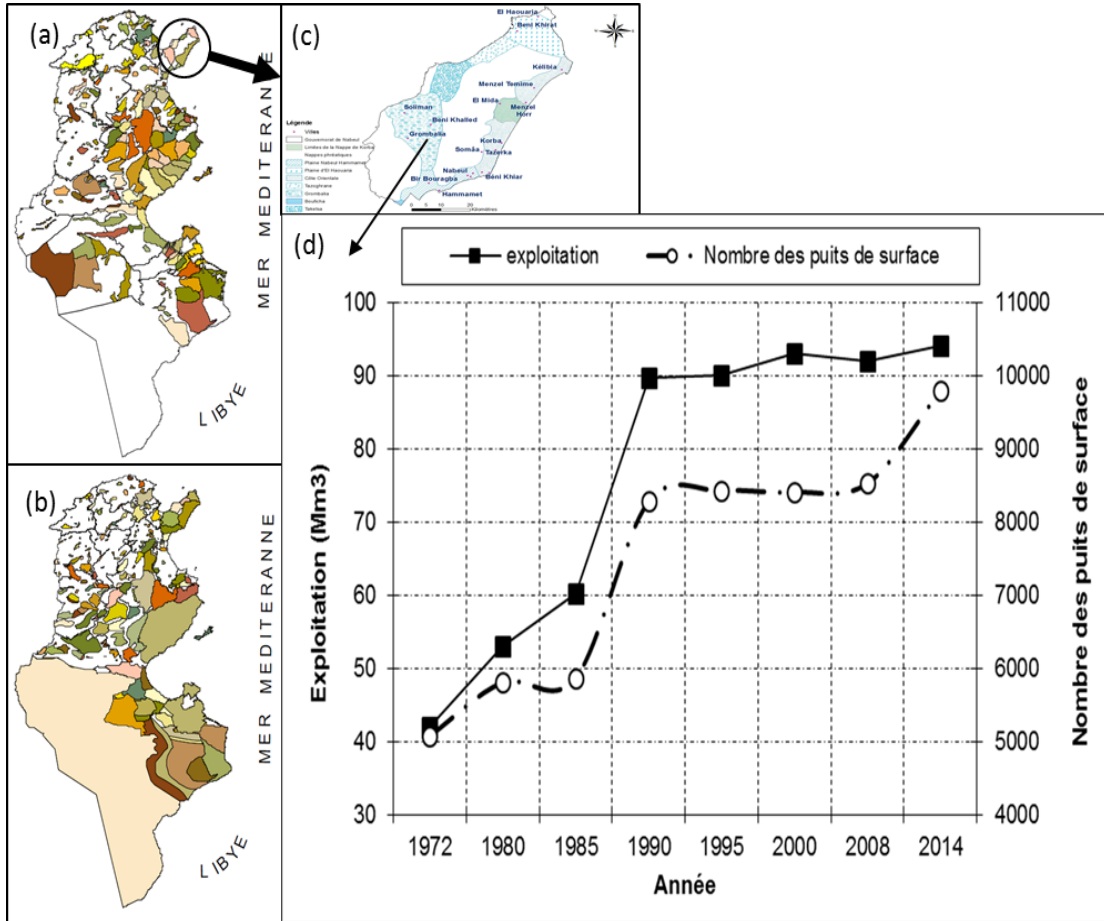
La région de Korba est située au Nord-est de la Tunisie. Elle est limitée à l'Ouest par la chaîne montagneuse de Djebel Sidi Abd Errahmane, à l'Est par la mer Méditerranéenne, au Nord par l'oued Lebna, et au Sud par l'oued Sidi Othmane (Figure 1). La région de Korba se classe dans l'étage bioclimatique méditerranéen semi-aride supérieur à hiver doux. Elle se situe entre les isohyètes 400 et 500 mm par an. Les mois de juillet et Août sont les plus chauds avec une moyenne de l'ordre de 26 °C. Les mois de janvier et février sont les plus froids avec une moyenne de 9°C. L'évaporation à partir d'un plan d'eau est favorisée par l'insolation, la chaleur et les vents mais contrariée par l'humidité relative. Le maximum d'évaporation est enregistré au mois d'août alors que le minimum est observé au mois de janvier. Le secteur d'étude est constitué par des terrains Mio-Plio-Quaternaires. Le Miocène moyen correspond dans sa partie inférieure à une série détritico-dépressive dite formation Bégli. Sa partie supérieure est formée par des grès lenticulaires et des marnes à niveaux de lignite appelés formation Saouaf. Le Pliocène affleure largement entre l'oued El Hajar au nord et l'oued Chiba au sud. Il est complètement masqué par les dépôts quaternaires dans les régions de Tafelloune et Diar el Hajje [12].

La recharge représenterait moins de 10% des précipitations annuelles moyennes [Ennabi, 1980] ou 30,4 Mm<sup>3</sup> en 2008 [8]. Les récents modèles hydrogéologiques ont montré que la situation piézométrique dans la partie centrale de l'aquifère était encore critique en 2004 en raison d'une exploitation de 135% de l'aquifère [8]. L'invasion de l'eau de mer dans les terres atteint 1,5 km au sud de l'oued Chiba et 5 km au sud d'El Diar Hajje. Des approches multidisciplinaires ont été utilisées pour étudier les conséquences de l'intrusion marine, combinant géophysique et hydrochimie [10; 12]. Selon les cartes de salinité, cinq zones ont été identifiées, la moins concentrée (2 à 4 g/L) se trouvait dans la partie amont et la plus concentrée (22 g/L) était sur notre site d'étude. La salinité étant plus prononcée le long de la côte, de nombreux puits peu profonds ont été abandonnés [8].

## Projections des impacts du changement climatique sur la nappe de la Côte orientale

Afin d'évaluer l'impact du changement climatique sur l'intrusion marine de la nappe de la Côte orientale, des méthodes d'investigations multidisciplinaires ont été menées : évaluation et modélisation du niveau piézométrique, analyses chimiques et isotopiques, étude historiques et enquêtes de terrain, etc.. Le comportement de la nappe côtière de la Côte orientale a été évalué pour différentes sollicitations de pompage avec ou sans changement climatique. Il ressort que l'impact du changement climatique se traduirait par une diminution de la recharge annuelle de l'ordre de 20 % en moyenne. Elle se manifesterait par une diminution de la piézométrie au sein de l'aquifère et se traduirait par une légère augmentation de la salinité (Carry et al., 2013). Les impacts directs des changements climatiques seront relativement faibles au niveau du stockage dans les barrages et les différents autres ouvrages (conformément à la faible diminution de la pluviométrie annuelle).

Une gestion optimale et intégrée des écosystèmes permettra de combler ce léger manque pluviométrique. Seules les périodes extrêmes auront des effets négatifs supplémentaires sur la ressource souterraine déjà fragile et surexploitée par endroit. En effet, la succession des périodes sèches nuira à l'agriculture.



**Figure 1.**  
 (a) Répartition des nappes phréatiques (226) en Tunisie  
 (b) Répartition des nappes profondes (340) en Tunisie  
 (c) Localisation du Cap Bon (nord-est de la Tunisie) et limites des nappes phréatiques (Grombalia, Côte orientale, Hammamet-Nabeul, El Haouaria, Bouficha, Takelsa et Tazoghane).  
 (d) Evolution temporelle de l'exploitation et du nombre de puits de la nappe phréatique de Grombalia (1972-2014)

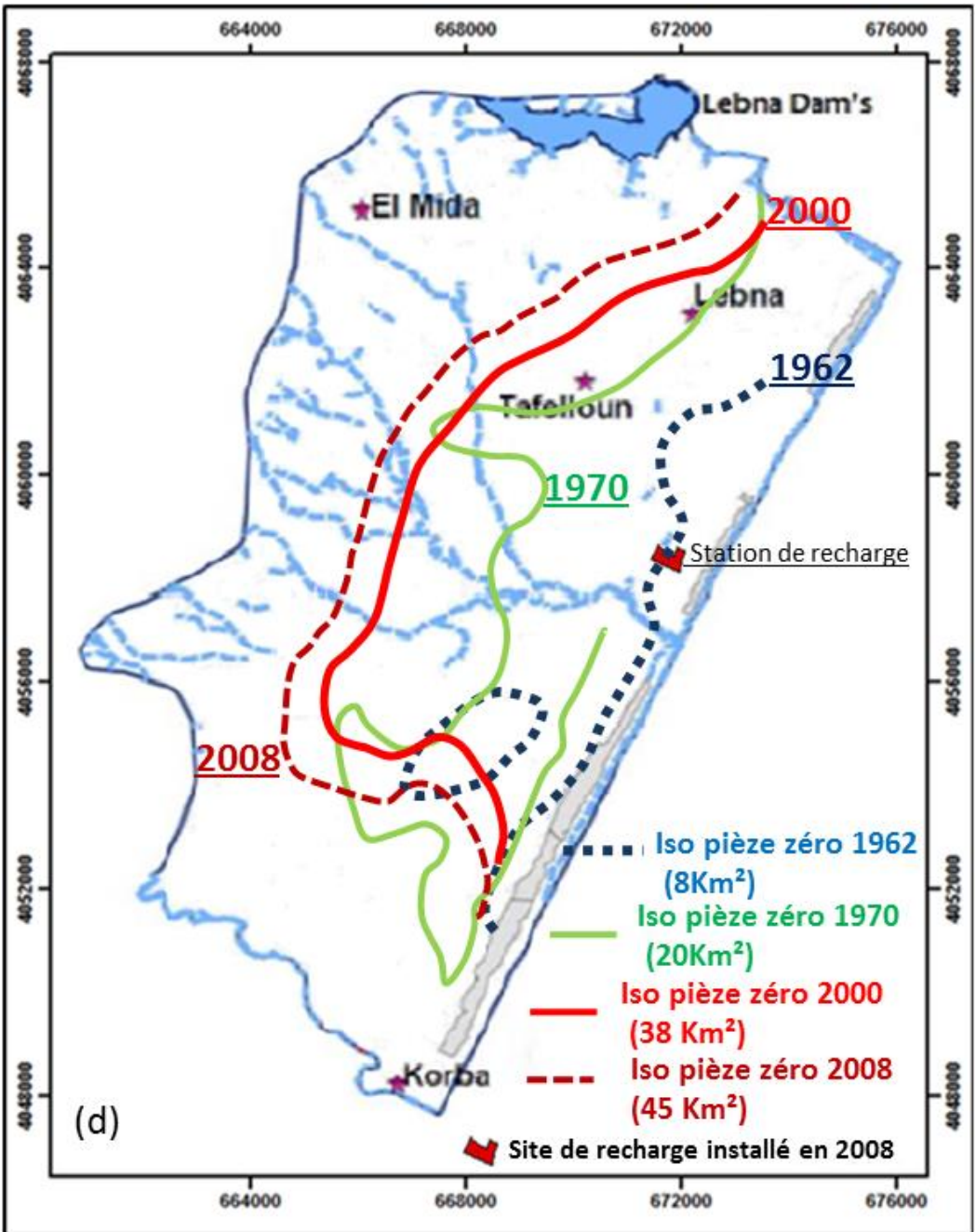


Figure 2. Evolution de la courbe isopièze zéro de la nappe de la côte orientale en 1962, 1970, 2000 et 2008.

## Conclusion

La Tunisie a engagé une réflexion prospective sur les impacts des changements climatiques sur le secteur agricole et les ressources naturelles, ainsi que sur les moyens requis pour en limiter les effets d'une manière soutenue et durable. Les changements climatiques se traduisent pour la Tunisie par une augmentation de la température moyenne annuelle, une baisse modérée des précipitations et une variabilité accrue du climat. En particulier, les phénomènes extrêmes (sécheresses, inondations) augmenteront en fréquence et en intensité. Les années très sèches devraient se succéder plus souvent à l'avenir. Dans ce contexte, la Tunisie est confrontée à des sérieux problèmes de ressources en eau mobilisables, de stabilisation et régression des ressources des nappes profondes et des apports pluviométriques. Le changement climatique affecte à la fois la variabilité des ressources en eau et par conséquent, leur disponibilité dans de nombreuses régions de la Tunisie. L'exemple de la nappe côtière de la Côte orientale du Cap Bon en Tunisie est une parfaite illustration des dommages exercés par le changement climatique et l'impact anthropique sur la ressource en eau.

## Références

- [1] N. Gaaloul N, B. Laignel, Z. Nouacer, H. Habaieb, Impact des changements climatiques sur les eaux souterraines en Tunisie, *Revue Géologues*, 187 (2015) 14-19.
- [2] GTZ et MARH, 2007. Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques.
- [3] ME (Ministère délégué en charge de l'Environnement au Maroc), 2009. Étude de vulnérabilité et adaptation du Maroc face au changement climatique sous la Seconde Communication Nationale. Rapport de synthèse. MEMEE/PNUD.
- [4] Stour L., et Agoumi A., 2007. Sécheresse climatique au Maroc durant les dernières décennies. *Revue Hydroécologie Appliquée*, tome 16, 215-232.
- [5] Nichane M., Khelil M.A. (2015). Changements climatiques et ressources en eau en Algérie vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°21, Mars 2015, 25-33.
- [6] Ennabli M. (1980) : «Étude hydrogéologique des aquifères Nord Est de la Tunisie par une gestion intégrée des ressources en eau ». Thèse de doctorat d'état, Université Nice.
- [7] Paniconi, C., Khlaifi, I., Lecca, G., Giacomelli, A., Tarhouni, J. (2001) : « Modeling and Analysis of Seawater Intrusion in the Coastal Aquifer of Eastern Cap-Bon, Tunisia ». *Transp. Porous Media*. Vol43, pp 3-28.
- [8] Gaaloul N., Rekaya M., Jlassi F. (2008) : « Salinisation des eaux souterraines de la nappe phréatique de la Côte Orientale au nord-est de la Tunisie ». *Revue Géologues*. Vol 159, pp 59-64.
- [9] Gaaloul N., Cary L., Casanova J., Guerrot C., (2012) : « Impact de la recharge artificielle par des eaux usées traitées sur la qualité et la quantité des eaux souterraine de la nappe côtière de Korba-Mida, Cap-Bon, Tunisie». *La Houille Blanche*. N°4-5, pp. 24-33.
- [10] Kouzana L., Ben Mammou A., Gaaloul N. (2009) : «Intrusion marine et salinisation des eaux d'une nappe phréatique côtière (Korba, Cap-Bon, Tunisie) ». *Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Ecologie Tropicales*. Vol.31, pp 57-70.
- [11] Gaaloul N. (2011) : « *Water resources and management in Tunisia*». *International Journal of Water*. Vol 6, pp 92-116.
- [12] Gaaloul N., Grira M., Najet S.(2008) : « *Caractérisation et modélisation d'une nappe en zone aride à sémi-aride dans le sud tunisien*». *Revue Tunisienne de Géographie*. N°39, pp 59-87.

## Variabilité temporelle des précipitations sur le nord-est algérien

Boutaghane Hamouda

Laboratoire d'Hydraulique et de Constructions Hydrauliques. Université Badji Mokhtar BP  
12, Annaba –Algérie, hamouda. [boutaghane@univ-annaba.dz](mailto:boutaghane@univ-annaba.dz)

### Résumé

*La précipitation est un principal élément du cycle hydrologique et sa variabilité temporelle est importante du point de vue scientifique et pratique. La tendance des pluies annuelles et extrêmes de 25 stations du Nord-Est Algérien ont été analysées. Les résultats de l'étude ont montrés l'existence de plusieurs fluctuations dans les paramètres pluviométriques et la convergence du test de Mann-Kendall dans certaines stations.*

**Mots-clés :** changement climatique, précipitation, analyse de tendance, tests statistiques, Nord-Est Algérien.

## Temporal variability of precipitation in northeastern Algeria

### Abstract

*Precipitation is a major component of the hydrological cycle. The temporal variability of precipitations is important from a scientific and engineer. The trend of annual and extreme rainfall of 25 rain gauge stations in Northeastern Algeria was analyzed. The results of the study showed several fluctuations in rainfall parameters and the convergence of the Mann-Kendall test at some stations.*

**Key Words:** climate change, precipitation, tendency analysis, statistical tests, Northeastern Algeria

## Introduction

Au cours de la dernière décennie, la problématique des changements climatiques a été reconnue comme l'un des problèmes majeurs du développement à l'échelle locale et régionale voire même à l'échelle internationale. En Algérie, l'importance du climat se fait sentir sur plusieurs sphères de la vie socio-économique de la société. Les événements de sécheresses prolongées qui ont frappé l'Algérie durant les dernières décennies ont généré des chamboulements dans les zones climatiques. De ce fait, de nombreux travaux sont de plus en plus consacrés à l'analyse de ses changements par l'analyse des séries pluviométriques [1, 2, 3, 4]. Les données hydrologiques constituent, la plupart du temps, le seul outil dont dispose l'hydrologue pour étudier et comprendre le comportement d'un phénomène hydrométéorologique, ou prendre des décisions relatives à un projet particulier concernant ce domaine. Les données, utilisées dans cette étude sont : de pluies journalières et annuelles, de 25 stations représentatives de différents régimes pluviométriques, du Nord-Est de l'Algérie. Débutant à partir de 1970. Une première étape est consacrée pour détecter les différentes formes de fluctuations. Une seconde étape clé sera dédiée à l'analyse des tendances annuelles et extrêmes des précipitations à l'aide du test de Mann-Kendall [5].

## I. Présentation des données

Les données utilisées dans cette étude ont été obtenus auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Les séries d'enregistrements de précipitations de 25 stations représentatives de différents régimes pluviométriques, du Nord-Est de l'Algérie. Débutant à partir de 1970, les périodes d'observation varient d'une station à l'autre. L'étude des variations climatiques nécessite des périodes d'observation supérieures à trente années. Cette durée minimum est recommandée par l'Organisation Mondiale de Météorologie. Les séries pluviométriques peuvent ne pas avoir le même degré de fiabilité. Une première étape de sélection des données a traité est nécessaire. Trois critères majeurs s'imposent lors de cette sélection préliminaire des données recueillies : i) la taille de l'échantillon, ii) la concomitance des séries de données et iii) la qualité des données (faiblesse des lacunes dans les séries observées). Sur la base de ces critères, douze stations pluviométriques (Figure 1) ont été retenues dans cette étude).

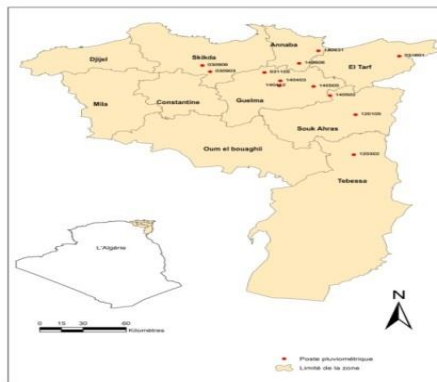


Figure 1: Localisation des stations pluviométriques retenues

Tableau I: liste des stations pluviométriques retenues pour l'étude et Résultats du test de M-K

	Stations pluviométriques			Période d'observat	Nombre d	Résultats du test de Mann-Ke	
	Station	Co	Wilay			Pluie Annuel	Pjma
	Ain barda	1404	Annab	1970-201	41	Accepté H	Rejeté H
	Ain El-Assel	0314	El Tar	1970-200	38	Accepté H	Accepté
	Bouati Mohmoud	0311	Guelm	1970-200	38	Accepté H	Rejeté H
	Bouchegouf	1403	Guelm	1970-201	43	Accepté H	Accepté
	Guelma	1402	Guelm	1973-200	35	Accepté H	Rejeté H
	Heliopolis	1401	Guelm	1970-200	37	Accepté H	Accepté
	Boukhadra	1203	Tebess	1972-201	39	Accepté H	Rejeté H
	Pont bouchet	1404	Annab	1977-200	31	Accepté H	Accepté
	Zardesas (bge)	0309	Skikda	1970-201	40	Accepté H	Rejeté H
	Mechroha	1403	Souk Ah	1970-200	39	Accepté H	Accepté
	Taoura	1201	Tebess	1971-201	39	Accepté H	Accepté
	Elharrouch	0309	Skikda	1970-201	44	Rejeté H	Accepté

## 2. Analyse des fluctuations des précipitations

Les données de précipitations annuelles des stations sélectionnées, ont été utilisées en premier lieu pour détecter :

- Les fluctuations annuelles des précipitations (année sèche /année humide)
- Les fluctuations dans la répartition du nombre de jours de pluie avec les saisons,
- Les fluctuations dans la valeur / la position de la pluie journalière max (Pjmax)

## 2.1. Fluctuation annuelle des précipitations

Une procédure statistique d'analyse a été développée par Nicholson (1983) [6], pour déterminer un écart normalisé de précipitations annuelles pour toutes les stations. La distribution spatiale du nombre d'années humides et sèches ont été obtenus. Cette procédure a été utilisée dans de nombreuses recherches. Les résultats de calcul pour la station pluviométrique d'Ain Berda sont présentés dans la Figure 2

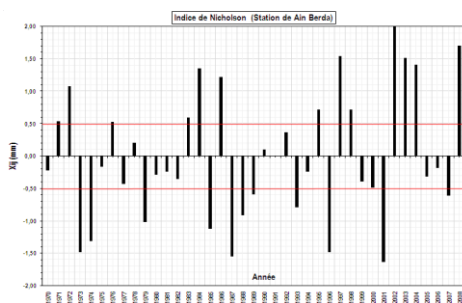


Figure 2 : Indice pluviométrique de Nicholson

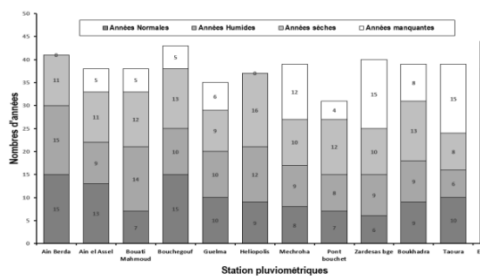


Figure 3 : Représentation des résultats de calcul

Pour la station d'Ain Berda (140606), selon l'indice de Nicholson, nous avons sur 40 années : 11 années sèches, 15 années humides et 15 années normales. Il apparait d'après la Figure 2 qu'il n'y a pas de tendance ou une continuité dans un processus. Il y a une alternance entre les années sèche et les années humides. Ce constat reste le même pour les 12 stations pluviométriques. La synthèse des calculs pour les 12 stations sont présentés dans la Figure 3

## 2.2. Fluctuation dans la répartition du nombre de jours de pluie

Le nombre de jours de pluie, dans une année, est un paramètre important dans une analyse de la pluviométrie, dans une station. Un autre paramètre aussi important, à notre avis, c'est la répartition de ce nombre de jours de pluie sur les quatre saisons. Depuis plusieurs années nous vivons un décalage dans les saisons. Le graphique de la Figure 4 représente la répartition du nombre de jours de pluie durant les saisons pour chaque année pour la station d'Ain Berda (140606). Nous remarquons qu'il y a un décalage dans les saisons pratiquement tous les 3, 4 à 5 années. Ce décalage se met en évidence beaucoup plus dans le cas où le nombre de jours de pluie par année augmente. Le même constat se fait pour toute les stations sauf celle de Taoura (120105), où il y a une translation vers le bas c.a.d le nombre de jours diminue par saison

## 2.3. Fluctuation dans la valeur et la position de la pluie journalière max (Pjmax)

Nous allons analyser la fluctuation de la valeur de la pluie journalière maximale (Pjmax) ainsi que sa position. La position de la pluie Pjmax est attribuée par rapport à sa date de mesure.

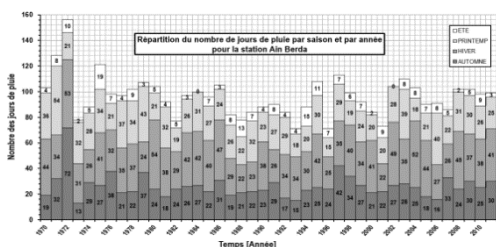


Figure 4 : répartition du nombre de jours de pluie par saison année pour la station Ain Berda (140606)

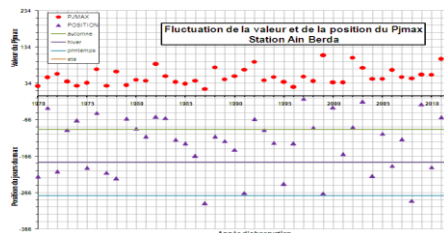


Figure 5 : fluctuation de la valeur et de la position du Pjmax la station d'Ain Berda (140606)

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**figure 5 illustre la fluctuation de la valeur et la position du Pjmax pour la station d'Ain Berda. Nous pouvons d'ores et déjà constaté en ce qui concerne la valeur du Pjmax, qu'elle oscille en augmentant avec le temps. En ce qui concerne la position du Pjmax nous avons remarqué qu'au début (1970-1985) elle se produisait à l'automne

et au printemps et de 1985 à 2010 le Pjmax est enregistré plus en Hiver et d'une manière moindre en automne et printemps. Le même constat se fait pour toutes les stations .

### 3. Analyse des tendances

#### 3.1. Principe du test de Mann-Kendall

Le test de Mann-Kendall est un test non paramétrique qui sert à déterminer si une tendance est identifiable dans une série temporelle qui comprend éventuellement une composante saisonnière. Ce test le résultat d'une amélioration du test d'abord été étudié par Mann (1945) puis repris par Kendall (1975) et finalement optimisé par Hirsch (1982) de façon à prendre en compte une composante saisonnière.

#### 3.2. Analyse de tendances des Précipitations Annuelles

Nous avons utilisé les données des stations pluviométriques. La pluie annuelle représente le cumul des précipitations annuelles. En exécutant le test de Mann-Kendall (M-K) sur les données, avec un seuil de signification de 95%. Les résultats des calculs sont mentionnés dans le Tableau 1. Le test de Mann-Kendall (MK) donne l'aperçu intéressant de la précipitation annuelle pour le Nord-Est de l'Algérie. Selon les résultats, il y a une tendance croissante pour la Station de Machrouha. Cependant, les résultats de test du MK est différent pour les autres stations, il n'y a aucune tendance pour tous Stations.

#### 3.3. Analyse de tendance des pluies extrêmes

La pluie extrême est représentée par le Pjmax. En exécutant le test de Mann-Kendall sur les données de pluie journalier maximal (Pjmax), les résultats suivants dans le Tableau 1 ont été obtenus pour les douze Stations. Pour les données extrêmes, le test de MK montre qu'il y a une tendance croissante pour Ain Berda, Bouati Mahmoud, Guelma, Pont bouchet, et Boukhadra.

### 4. Conclusion

Nous avons essayé d'étudier les tendances pluviométriques dans 12 stations réparties sur six Wilayas du Nord -Est Algérien. Dans cette perspective nous avons travaillé sur deux étapes : La première étape consiste à étudier les :i) Fluctuations annuelles des précipitations (année sèche /année humide), ii) Fluctuations dans la répartition du nombre de jours de pluie avec les saisons, iii) Fluctuations dans la valeur et la position de la pluie journalière max (Pjmax). Nous avons ressorti une alternance entre année sèche et année humide. En ce qui concerne le nombre de jours de pluie, il a été constaté un décalage dans les saisons avec l'augmentation des nombres de jours de pluie. Pour les Pjmax leurs valeurs oscillent en augmentons. La deuxième partie consiste à appliquer le test non paramétrique de Mann Kendall aux données annuelles et aux Pjmax. Pour les pluies annuelles nous avons détecté une tendance dans la station de Mechrouha. Pour les Pjmax nous avons relevé une tendance pour les stations de : Ain Berda, Bouati, Guelma, Pont Bouchet et Zerdazas.

De cet article et vue la taille des données (longueur des séries) nous ne nous pouvons pas statuer sur les tendances pluviométriques. Néanmoins, nous avons décelé quelques perturbations et oscillations dans le phénomène pluviométrique.

### Références

- [1] Zeroual, A., A. A. Assani, et al. . Combined analysis of temperature and rainfall variability as they relate to climate indices in Northern Algeria over the 1972–2013 period. *Hydrology Research*. (2016)
- [2] Turki, I., B. Laignel, et al. Hydrological variability of the Soummam watershed (Northeastern Algeria) and the possible links to climate fluctuations. *Arabian Journal of Geosciences* 9(6) (2016): 477.
- [3] Taibi, S., M. Meddi, et al. Relationships between atmospheric circulation indices and rainfall in Northern Algeria and comparison of observed and RCM-generated rainfall. *Theoretical and Applied Climatology*: 1-17(2015).
- [4] Trambly, Y., S. El Adlouni, et al. Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13(12) (2013): 3235-3248.
- [5] Zhai, P., X. Zhang, H. Wan, and X. Pan, 2005: Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *J. Climate*.
- [6] Nicholson, S. E. Sub-Saharan Rainfall in the Years 1976–80: Evidence of Continued Drought. *Monthly Weather Review* 111(8) (1983): 1646-1654.



## **Outils de quantification des impacts des activités anthropogéniques et du changement climatique sur les ressources en eau.**

Mohamed Habib Sellami

Département Hydraulique Ecole Supérieure des Ingénieurs de Medjez El Bab, Université de Jendouba 0216  
98 442 549, [mh.sellami@planet.tn](mailto:mh.sellami@planet.tn).

### **Résumé**

*Dans ce travail nous allons détailler les outils de base permettant de modéliser et d'analyser les effets qui ont ou qui peuvent affecter les ressources en eau suite à l'implantation d'un projet et suite au changement climatique et d'évaluer ces effets par une quantification directe afin de prévoir ou d'implanter les solutions de remède permettant d'éliminer si non minimiser, si non tamponner ces forces. Le raisonnement se base sur la détection du risque pour que le système est soit touché, affecté ou contaminé par une source de nuisance quelconque afin de prendre la décision efficace au moment propice. Des études des cas pour certains projets seront présentées.*

**Mots-clés :** Indice d'intégrité écologique, Evaluation environnementale, Fonction écologique, Fonction thermo économique,

## **Tools for quantifying the impacts of anthropogenic activities and climate change on water resources.**

### **Abstract**

*In this work we will detailed the tools for modeling and analyzing the effects that can affect natural resources in particular water resources following anthropogenic activities and climate change. Also an evaluation of those effects by a direct quantification in order to conceptualize solutions to eliminate, minimize or buffer those forces.. The reasoning is based on the detection of the risk for which the system studied was either touched, affected or contaminated by a nuisance source inside the project. Case study for some activities will be presented*

**Key Words:** Ecological integrity index, Environmental evaluation, ecological function, thermo-economical function ; charge of a risk factor, fraction of a potential impact

## Introduction

Le développement économique a pour principal but la satisfaction des besoins et des désires de l'être humain par implantation des projets qui utilisent les machines et exploitent énormément les ressources naturelles en particulier les ressources en eau tout en les polluants. Ces projets en plus de leurs participation directe à l'épuisement de ces ressources par leur exploitation agressive, ils participent activement au changement climatique qui à son tour ne fait qu'accélérer le rythme de cet épuisement. La majorité des activités anthropogéniques que se soit dans les zones urbaines, périurbaines et rurales concernent les réseaux de transport, les réseaux d'électrification, les projets industriels ou autres, les terres agricoles, les bâtiments à usage multiple et les habitats, les sources d'énergie... ne considèrent pas dans l'étude de faisabilité la valeur économiques des effets indirects qui peuvent affectés les milieux cibles en générale et les ressources en eau en particulier et aussi ne considèrent pas le taux de participation de ces activités dans le changement climatique. De même les outils précis de quantification des impacts aussi bien des changements climatiques que des activités anthropogéniques sur ces ressources, malgré qu'on y parle souvent sont toujours en développement. Développer des modèles et proposer des équations et des formulations générales à appliquer à n'importe quelle activité anthropogénique et pour différentes situations du changement climatique et permettant de quantifier les éventuels impacts et à les considérer dans les plans de développement et dans la conception des systèmes de protection des ressources en eau est une occupation et une orientation de tous les intervenants à l'échelle internationale. Dans ce travail nous allons détailler les outils de base permettant de modéliser et d'analyser les effets qui ont ou qui peuvent affecter les ressources en eau suite à l'implantation d'un projet et suite au changement climatique et d'évaluer ces effets par une quantification directe afin de prévoir ou d'implanter les solutions de remède permettant d'éliminer si non minimiser, si non tamponner ces forces.

## I. Méthodologie générale de quantification des impacts du changement climatique et des activités anthropogéniques

Dans ce paragraphe nous allons présenter brièvement les étapes à suivre pour élaborer une étude d'impact. Nous allons aussi identifier les domaines cibles et comment analyser les impacts pour les divers projets ainsi que pour le changement climatique. Le raisonnement se base sur la détection du risque pour que le système est soit touché, affecté ou contaminé par une source de nuisance quelconque afin de prendre la décision efficace au moment propice. Des études des cas pour certains projets seront présentées.

### 1.1. Identification des sources de nuisance et des milieux cibles affectés

Pour m'importe quel projet que se soit de service, industriel, agricole, d'aménagement, dans une zone urbaine ou rurale, les sources de pollution ou de nuisance identifiées par les spécialistes et que nous pouvons trouver en partie ou en totalité dans le même projet sont [1-6]:

- Nuisance ou pollution physico-chimique
- Nuisance ou pollution sonore
- Nuisance ou pollution nasale
- Nuisance ou pollution visuelle
- Nuisance ou pollution thermique

Un projet d'aménagement quelconque peut contenir quelques ou toutes les sources de nuisance.

Pour les différentes sources de nuisance identifiées dans le paragraphe précédent nous remarquons que les composantes qui y existent ont des effets directs sur le milieu environnant. Les différents éléments du milieu environnant la source de pollution sont ceux qui vont être affectés par les particules dégagées à partir de cette source. Ils sont généralement dits milieux cibles. Nous distinguons les milieux cibles suivants:

- La flore (plantes de consommation, plantes médicinales, les plantes forestières, les plantes des espaces sylvopastorales...)
- Le sol
- Les sources d'eau (surface, souterraine, maritime...)
- La faune (domestique et sauvage)
- L'atmosphère
- Santé humaine et bien être
- Habitat et infrastructures
- Matériel et accessoire d'usage quotidien
- Le social
- Economie

### 1.2. Equations de base pour la modélisation des effets des sources de pollutions dans un projet

L'analyse des sources de nuisance qui peuvent se trouver toutes ou en partie dans un même projet nous permet constater que les effets enregistrés sont dus toujours à des déplacements des flux de masse ou de puissance ou de chaleur ou d'onde selon l'échelle de raisonnement adoptée. De ces faits la quantification des effets se fait sur la base de l'application des équations de transfert de mouvement, des énergies et de masse à l'échelle macro équations de Navier Stocke et à l'échelle moléculaire équations de Maxwell. Les équations de Navier Stockes peuvent s'écrire sous la forme suivante [6 ; 8]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho\vec{v})}{\partial t} + \text{div}(\rho\vec{v} \otimes \vec{v}) = -\overrightarrow{\text{grad}}(p) + \text{div}(\vec{\tau}) + \rho\vec{f} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t} + \text{div}(\rho e + p)\vec{v} = \text{div}(\vec{\tau}\vec{v}) + \rho\vec{f}\vec{v} - \text{div}(\vec{q}) + R \quad (3)$$

t représente le [temps](#)

$\rho$  désigne la [masse volumique](#) du fluide

$\vec{v}$  désigne la vitesse eulérienne d'une particule fluide

$p$  désigne la [pression](#)

$\vec{\tau}$  est le [tenseur des contraintes](#) visqueuses

$\vec{f}$  Désigne la résultante des forces massiques s'exerçant dans le fluide

$e$  est l'énergie totale par unité de masse

$\vec{q}$  est le [flux de chaleur](#) perdu par conduction thermique

$R$  représente la perte de chaleur volumique due au rayonnement

Pour les équations de maxwell on peut les présenter comme suit :

$$\text{div} \vec{D} = \rho : \text{Maxwell Gauss} \quad (4)$$

$$\text{div} \vec{B} = 0 : \text{Equation de conservation du flux} \quad (5)$$

$$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} : \text{Maxwell Faraday} \quad (6)$$

$$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} : \text{Maxwell Ampère} \quad (7)$$

$\vec{D}$  : Vecteur déplacement

$\vec{B}$  : vecteur champ magnétique

$\vec{E}$  : Vecteur champ électrique

$\vec{H}$  : vecteur excitation magnétique

$\vec{j}$  : Vecteur densité de courant

$\rho$  : Densité volumique de charges

### 1.3. Méthode d'évaluation des impacts pour les divers milieux cibles

Le but est de trouver un moyen permettant de mesurer les éventuels changements qui paraissent sur un milieu cible suite à l'implantation du projet et de chercher par la suite les solutions de le rendre à son état initial. Les étapes sont les suivantes [6-12]:

- Fixation des indicateurs de quantification des effets en utilisant les propriétés physico chimiques de caractérisation des milieux cibles et des polluants et en proposant les formulations de leurs estimations ou les moyens de leurs mesures.
- Quantification de la situation avant projet ou d'une situation témoin : mesure ou calcul ou consultation des bases des données existantes des paramètres indicateurs du milieu cible avant démarrage du projet
- Evaluation périodique de la situation des milieux cibles en quantifiant périodiquement les paramètres indicateurs fixés après démarrage du projet
- Comparaison aux valeurs enregistrées pour la situation initiale ou témoin et calcul des éventuels effets
- Proposition des solutions de remède pour chaque milieu cible

Pour cette quantification nous utilisons le matériel de mesure des paramètres indicateurs pour chaque milieu cible, les enquêtes de terrain, les bases des données, les formules, les équations et les modèles de calcul

## 2. Mise en équation et modélisation pour la quantification des impacts

Nous allons présenter les équations générales permettant d'évaluer périodiquement les changements qui peuvent paraître dans n'importe quel système suite aux impacts des sources de nuisance. Un rappel des indicateurs de quantification des impacts pour chaque domaine ainsi que les formulations de calcul correspondantes seront soulevés [6, 7, 9-12].

### 2.1. Equations générales de quantification des impacts sur un système

Le raisonnement se base sur la détection du risque pour que le système est soit touché, affecté ou contaminé par une source de pollution quelconque afin de prendre la décision efficace au moment propice. Les formulations de base permettant de calculer ce risque sont dans les sous paragraphes suivants.

#### 2.1.1 Fraction attribuée à l'unité de population affectée d'un milieu cible dans le système

Elle définit la probabilité de réduction des effets de nuisance que nous pouvons réaliser si l'exposition à un facteur de risque d'une source de pollution quelconque a été réduite. Nous écrivons :

$$P_{\text{aff}-i} = \frac{F_{\text{dis-ris}-i}(R_{\text{rel}-i}-1)}{F_{\text{dis-ris}-i}(R_{\text{rel}-i}-1)+1} \quad (8)$$

$P_{\text{aff}-i}$  : Fraction attribuée à l'unité de population affectée par le changement dans le système pour le facteur de risque i

$R_{\text{rel}-i}$  : Risque relatif pour le facteur i à un niveau d'exposition

$F_{\text{dis-ris}-i}$  : Fonction de distribution du risque de l'exposition pour le facteur de risque

Pour plusieurs facteurs de risque dans la même source de pollution la fraction totale attribuée à l'unité de population (éléments dans un milieu cible) affectée s'écrit :

$$P_{aff-tot} = \frac{F_{dis-ris-i}(R_{rel-i}^{-1})}{\sum_i F_{dis-ris-i}(R_{rel-i}^{-1}) + 1} \quad (9)$$

### 2.1.2. Charge d'un facteur de risque

Il traduit le poids ou la part du changement subit par le système suite au facteur de risque étudié. On écrit :

$$C_{fac-ris-i} = P_{aff-i} \times C_{tot-fac-ris} \quad (10)$$

$C_{fac-ris-i}$  : Charge du facteur de risque  $i$

$C_{tot-fac-ris}$  : Charge totale de tout les facteurs de risque

### 2.1.3. Fraction de l'impact potentiel

Elle traduit la masse ou la charge totale d'un risque d'exposition entrainant la sortie d'une partie ou de tout le système de la production ou de l'usage pour les objets et maladies ou mortalité pour les êtres vivants. Elle s'exprime par :

$$Frac_{impact-pot} = \frac{\int_{R_{rel}(x)} F_{dis-exp}(x) dx - \int_{R_{rel}(x)} F_{cont-prat-exp}(x) dx}{\int_{R_{rel}(x)} F_{dis-exp}(x) dx} \quad (11)$$

$Frac_{impact-pot}$  : Fraction d'impact potentiel

$F_{dis-exp}$  : Fonction de distribution de l'exposition

$F_{cont-prat-exp}$  : Fonction de du contre pratique à l'exposition

$x$  : Niveau d'exposition

Pour étudier des effets multiples ensemble nous devons introduire la notion de causalité et la représentation matricielle :

$$X^n = f[B(X^{n+1}, X^n)X^{n-1}] \quad (12)$$

$X$  : Vecteur des variables caractérisant les effets

$f$  : Fonction reliant les variables des effets

$B$  : Matrice dépendant des nombres des variables et de la représentation dans l'espace

### 2.1.4. La fraction attribuée à l'effet pour un milieu cible

Pour chaque milieu cible et selon la source de nuisance il sera affecté en totalité ou en partie. On définit ainsi la fraction d'affectation associée à une source particulière et pour un paramètre indicateur particulier du milieu cible. Elle s'exprime par :

$$Frac_{att-effet} = \frac{\int_{F_{dis-exp}} F_{eff-sub}(x) - \int_{F_{dis-cont-exp}} F_{eff-sub}(x)}{\int_{F_{dis-exp}} F_{eff-sub}(x)} \quad (13)$$

$F_{racatt-effet}$  : Fraction attribuée à l'effet subit par un milieu cible

$F_{eff-sub}(x)$  : Fonction des effets subit par le milieu cible

### 2.1.5. La fonction logistique linéaire de la durée de traitement

Elle traduit le timing à réserver pour apporter les actions nécessaires pour rendre un milieu cible affecté par une source de nuisance à son état initial. On écrit :

$$F_{lin-log}(A_{trait,i}, C_{mil-cib-af}) = \frac{\exp(C_{mil-cib-af,0} + C_{mil-cib-af,1} D_{dur-trait,i})}{1 + \exp(C_{mil-cib-af,0} + C_{mil-cib-af,1} D_{dur-trait,i})} \quad (14)$$

$A_{trait,i}$  : Traitement  $i$  du milieu cible contre l'effet d'une source de nuisance

$D_{dur-trait,i}$  : Dur(a) : Durée du traitement  $i$  par mois

$C_{mil-cib-af,0}$  et  $C_{mil-cib-af,1}$  : Constante caractérisant le milieu cible affecté

## 2.2. Indices de quantification des effets des sources de pollution pour une activité antropogénique ou le changement climatique

Les différentes sources de nuisance citées dans le paragraphe précédent peuvent être rencontrées toutes ou en partie dans un même projet. Pour quantifier les effets combinés les chercheurs ont proposés plusieurs formules selon la norme AFNOR ISO 14001 nous citons les suivantes pour certains indices.

### 2.2.1. Indice de protection

Il caractérise l'apport des travaux réalisés pour protéger les milieux cibles contre les effets de nuisance d'un projet quelconque. Il s'exprime par

$$I_{ind-prot} = \sum_i C_{coef-prot-sys-i} L_{dim-sys-i} \quad (15)$$

$I_{ind-prot}$  : Indice de protection

$C_{coef-prot-sys-i}$  : Coefficient de protection du système cible

$L_{dim-sys-i}$  : Dimension caractérisant le système

### 2.2.2. Indice d'atteinte du système

Il traduit le taux d'atteint d'un milieu cible à l'exposition aux sources de nuisance d'un projet. On écrit :

$$I_{ind-att-sys-cib} = SS_{sens-cib} A_{agg-imp-cib} D_{terr-imp-cib} \quad (16)$$

$I_{ind-att-sys-cib}$  : Taux d'atteinte du système cible

$SS_{sens-cib}$  : Sensibilité du milieu cible

$A_{agg-imp-cib}$  : Aggravation ou importance de l'impact sur le milieu cible

$D_{terr-imp-cib}$  : Territoire ou linéaire sur lequel le milieu cible est impacté

### 2.2.3. Indicateur de destruction:

C'est un indicateur qui permet d'évaluer le taux de destruction du milieu cible par rapport à son état initial suite à l'exposition à une source de nuisance. Il s'exprime par :

$$I_{des-cib} = E \sum_{i=1}^n C_{fac-ris-cib,i} C_{rel-vit-reg-surf-cib,i} C_{rel-surf-cib,i} \quad (17)$$

$I_{des-cib}$ : Indicateur de destruction du milieu cible

$C_{rel-surf-cib,i}$ : Coefficient relatif aux surfaces C'est le pourcentage du milieu cible i par rapport à la région du projet

$C_{fac-ris-cib,i}$   $C_{fi}$ : Coefficient du facteur de risque pour le cible i

$C_{rel-vit-reg-surf-cib,i}$   $C_{rel-vit,i}$ : Coefficient relatif de vitesse de régression de la surface du milieu cible i

#### 2.2.4. Indice de coupure

Il caractérise l'effet relatif de la source de nuisance sur la continuité du fonctionnement, de l'usage ou de l'activité du milieu cible come entité. Il s'exprime par :

$$I_{coup-cible} = C_{traf-cible} \left[ X_{perm-cib-struc} \sum_{i=0}^n S_{cib-struc} + X_{perm-cib-attract} \sum_{i=0}^n S_{cib-attract} + X_{perm-cib-freq} \sum_{i=0}^n S_{cib-freq} \right] \quad (18)$$

$I_{coup-cible}$ : Indicateur de coupure du milieu cible

$C_{traf-cible}$ : Coefficient de trafic du milieu cible

$X_{perm-cib-struc}$   $X_1$ , Coefficient de perméabilité pour un milieu cible structuré

$X_{perm-cib-attract}$   $X_2$ , Coefficient de perméabilité pour un milieu cible attractif

$X_{perm-cib-peu-freq}$   $X_3$ : Coefficient de perméabilité pour un milieu cible peu fréquenté

$S_{cib-struc}$   $S_i$ , Surface pour un milieu cible structuré

$S_{cib-attract}$   $S_j$ , Surface pour un milieu cible attractif

$S_{cib-peu-freq}$   $S_k$ : Surface pour respectivement un milieu cible peu fréquenté

### 3. Paramètres caractérisant les milieux cibles : Variables d'entrées des Formulations

Un milieu cible est celui qui peut être affecté totalement ou en partie par une source de nuisance qui peut exister suite au changement climatique ou dans une activité anthropogénique. De même selon l'échelle de raisonnement adoptée un milieu cible peut être réparti en plusieurs sous milieux en considérant le positionnement géographique de chaque partie du milieu cible, la répartition de l'hétérogénéité à l'intérieur, variabilité des caractéristiques physiques de ces composantes... Les milieux cibles qui peuvent être affectés sont le, sol, les plantes, les sources d'eau, l'atmosphère, la santé humaine ; le socio économique. Pour les sources d'eau nous citons les paramètres suivants :

Les ressources en eau que se soient de surface ou souterraine se caractérisent par des paramètres macro (le système est toute la quantité présente) ou micro (échelle moléculaire ou atomique). Nous rappelons les paramètres suivants :

- La dureté de l'eau correspondant à sa minéralisation en calcium et magnésium
- Le pH qui dépend de la teneur en ions;
- La teneur en gaz dissous issus de l'atmosphère ( $O_2$  et  $CO_2$ );
- La teneur en substances minérales dissoutes généralement sous forme ionique: anions (bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, fluorures) et cations (calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, manganèse, ammonium);
- La liaison moléculaire ou atomique ou isotopique
- La turbidité, produite par des matières en suspension (argiles) dans les aquifères karstiques.
- Les paramètres microbiologiques : pourcentage de certains microbes indicateurs de qualité de l'eau
- La demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO5), L'azote ammoniacal ( $NH_4^+$ ), Les nitrates ( $NO_3^-$ )

• Indice de Polluosensibilité spécifique : Effectué pour les nappes d'eau et est basé sur la détermination de 400 diatomées (algues brunes) prélevées sur des minéraux de grande taille.

• Indice Biologique Global Normalisé : Des analyses qui portent sur la détermination des macros invertébrés qui sont tous les organismes aquatiques non vertébrés dont la taille est supérieure à 0,5 mm.

### 4. Conclusion

Pour la quantification des impacts la différenciation entre les effets des projets liés aux activités anthropogéniques et les effets du changement climatique ne se fait que par la pensée. Car en réalité et suite à la relation de causalité qui existe entre eux nous ne pouvons pas proposer des formulations qui séparent les effets des uns contre les effets de l'autre. En fait la majorité des effets du changement climatique sont dus aux activités anthropogéniques.

Pour faire la distinction dans le but de pouvoir modéliser, nous avons détaillé les équations de base permettant de quantifier les effets des toutes les sources de nuisance dans un projet ainsi que du changement climatique. Nous avons aussi formulé certains indicateurs de quantification des impacts et nous avons présenté les paramètres qui caractérisent l'état de chaque milieu cible. La fonction thermo économique qui s'exprime en fonction des paramètres qui caractérisent aussi bien la ou les sources de nuisance et les milieux cibles affectés a été introduite ce qui nous permet de convertir les valeurs physiques des effets à des valeurs économiques. Cette fonction est très utile par la suite si nous voulons conceptualiser une technologie de pointe moins polluante dans le projet même.

### Références

[1] Adriano V. Ensinasa,b., Victor Codinab, François Marechalb, Juliana Albarellic, Maria Aparecida Silvac "Thermo-Economic Optimization of Integrated First and Second Generation Sugar cane Ethanol Plant" Chemical Engineering Transactions, Vol, 35 (2013), ISBN 978-88-95608-26-6; ISSN 1974-9791

[2] Abdennaceur A Mabrouk, AS Nafey, H.E.S Fath Thermoeconomic evaluation of some existing desalination processes Desalination 205/2007 354-373

- [3] Certu – Cete – « Evaluation environnementale des plans de déplacements urbains Analyse des premières pratiques et préconisations » Centre d'Etudes sur les réseaux de transport, l'urbanisme et les constructions publiques Lyon France, 112 pages, 2011 ISBN : 978-2-11-099565-0
- [4] Fanny MALLARD « Développement d'une méthode d'évaluation quantitative des effets des projets d'infrastructures de transport terrestre sur les milieux naturels. Biodiversity and Ecology. » Thèse Ecole Centrale de Nantes (ECN), 2014. French. , 471 pages
- [5] FOXTROT International « Etude d'impact environnemental et social projet de pose de pipelines traversant le canal de vridi » Secrétariat International Francophone de l'Évaluation Environnementale (SIFÉE) 540, place Saint-Henri, Local A Montréal (Québec) 2012 H4C R9, Canada, 154 pages
- [6] Sellami MH « Evaluation des impacts environnementaux des projets par modélisation. Aspects théoriques et étude des cas. Quantification pour les inondations et la réutilisation des eaux usées traitées » Editions Universitaires Européennes, 2016 ISBN 978-3- 639-80672-4, pp. 104.
- [7] Sellami M.H. "Thermo-economic modeling of renewable energy systems. Case study for wind farm" International Journal of Energy, Technology and Policy Vol. 11 N° 1 (2015) pp. 53-67
- [8] Sellami M.H. "Hydraulique de la Théorie à l'application. Hydraulique Agricole. Mise en équation, conception et dimensionnement" 2015 Edition Edlivre, France, 142 pages, ISBN papier : 978-2-332-98571-2
- [9] Sellami M.H. "A modeling approach to quantify the socioeconomic and environmental impacts of renewable energy installations. Case studies for wind energy and biogas reactor" IEEE Conference publications , DOI: 10.1109/IREC.2014.6826957 2014
- [10] Sellami M.H. and Marzouk H , "A Thermo-Economic Modeling to Conceptualize a Biogas Digester Destined to Energetic Valorization of Waste Water under Products," International Journal of Renewable Energy & Biofuels, Vol. 2013 (2013), Article ID 563795, DOI: 10.5171/2013.563795; 16 pages.
- [11] Sellami M.H. " Basic concepts for modeling in different and complementary ecological fields: plants canopies conservation, thermal efficiency in buildings and wind energy producing" Chapter in the book Ecological Modelling, ISBN: 978-1- 61324-567-5 Editor Wen-Jun Zhang. Nova Science Publisher 2012.
- [12] Sellami M.H. et Sidiki E. "Modeling for Sustainable Development: Inundation Risk Management and Decision Making in Water Sector" Chapter In the book " Sustainable Development - Education, Business and Management - Architecture and Building Construction - Agriculture and Food Security ", pp. 82 – 110. 2012, ISBN 978-953-51-0116-1, edited by Chaouki Ghenai. InTech - Open Access Publisher

## **Caractérisation de la variabilité climatique : Cas du bassin versant de Mellah (Nord-Est algérien)**

Lina Bendjema 1, Kamila Baba-Hamed 2, Abderrazak Bouanani 3

<sup>1,2,3</sup> Laboratoire "Promotion des ressources hydriques, pédologiques et minières, université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, Algérie.

[lina.24206@gmail.com](mailto:lina.24206@gmail.com), [kambabahamed@yahoo.fr](mailto:kambabahamed@yahoo.fr), [a\\_bouananidz@yahoo.fr](mailto:a_bouananidz@yahoo.fr)

### **Résumé**

*On définit le climat comme l'ensemble des phénomènes météorologiques (vents, précipitations, température, évaporation...) qui varient d'un lieu à un autre de la surface terrestre. Il est déterminé par la situation géographique du lieu (latitude, altitude, éloignement par rapport à la mer) et par la circulation atmosphérique.*

*L'objectif de cette étude, est de connaître la variabilité d'un des paramètres les plus importants du cycle hydrologique (les précipitations) et de détecter rapidement les situations de sécheresse climatique à l'échelle annuelle au niveau du bassin versant de Oued Mellah (Nord-est Algérie) sur une période de 45 ans à travers le calcul de: l'indice de précipitation normalisé (SPI), qui permettra de détecter les années de rupture à l'aide du logiciel Khronostat.*

**Mots clés :** Oued Mellah, Indice de précipitation normalisé, sécheresse, rupture.

### **Characterization of climate variability: case of the Mellah watershed (Northern East of Algeria)**

### **Abstract**

*The climate is defined as all the meteorological phenomena (wind, precipitation, temperature, evaporation, etc.) that vary from one place to another on the Earth's surface. It is determined by the geographical location of the place (latitude, altitude, distance from the sea) and by atmospheric circulation. The objective of this study, is to know the variability of one of the most important parameters of the hydrological cycle (precipitations) and to quickly detect the situations of annual climatic drought at the level of the watershed of Oued Mellah ( Northeast Algeria) over a period of 45 years through the calculation of: the standardized precipitation index (SPI), which will detect the years of failure using the Khronostat software.*

**Key Words :** Oued Mellah, Standardized precipitation index, drought, rupture.

## Introduction

La gestion optimale de la ressource en eau, en quantité comme en qualité, est une condition essentielle du développement durable d'une région. Ce développement s'inscrit d'une part dans la perspective d'une croissance des besoins et d'autre part dans celle des modifications du cycle de l'eau qui pourraient être liées aux processus de variabilité climatique. L'analyse de longues séries chronologiques de pluviométrie annuelles disponibles dans le bassin versant d'oued Mellah a permis de resituer la sécheresse actuelle dans une perspective historique. L'antériorité de cette information et son analyse permettent ainsi d'apprécier l'alternance des périodes sèches et humides et donc de mieux caractériser le déficit pluviométrique annuel actuel.

## 1. Description du milieu et de sa problématique

Le bassin versant d'Oued Mellah (Fig.1) s'étend sur une superficie de 552.38 km<sup>2</sup>, Il est situé en Nord-est de l'Algérie, à l'Est du bassin versant Seybouse. L'oued Mellah est le principal affluent rive droite de la Seybouse avec laquelle il conflue au débouché de la vallée de Guelma. Les données des stations pluviométriques utilisées dans cette étude proviennent de la base de données de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques Algérie (ANRH Alger). Elles concernent trois stations pluviométriques: Mechroha, Hammam N'baïl et Bouchegouf et couvrent la période 1967/68-2011/2012.

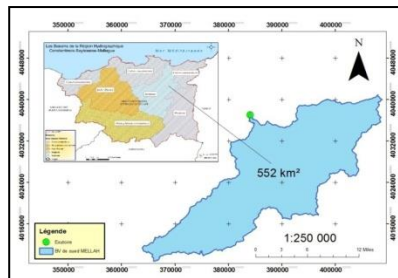


Figure 1. Situation du bassin versant d'Oued Mellah (Nord-Est Algérie).

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1 Détection des ruptures au sein des séries annuelles

L'approche statistique par l'application de tests de détection de rupture a été utilisée pour analyser les séries chronologiques des précipitations. Une rupture dans une série chronologique peut être assimilée à un changement dans la loi de probabilité de la série à un instant donné, le plus souvent inconnu. Nous avons essayé d'appliquer aux séries annuelles des précipitations, trois tests statistiques d'homogénéité à l'aide du logiciel d'analyse statistique des séries chronologiques (Kronostat 1.01).

#### 2.1.1 Test de PETTITT

Le test de Pettitt est une version modifiée du test de Man-Whitney, il a été décrit par plusieurs auteurs [1][2]. Il permet de vérifier la stationnarité de la série pluviométrique. Cette série étudiée est divisée en deux (2) échantillons respectivement de taille  $m$  et  $n$ . Les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous échantillon dans l'échantillon total. Une étude statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous échantillons à la même population. Ce test repose sur le calcul de la variable  $U_{\tau, N}$  définie par l'équation [3]:

$$U_{\tau, N} = \sum_{i=1}^{\tau} \sum_{j=\tau+1}^N D_{ij} \quad (1) \quad \text{avec: } D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j), \quad \text{sgn}(X) = 1, \text{ si } X > 0, \quad \text{sgn}(X) = 0, \text{ si } X = 0, \quad \text{sgn}(X) = -1, \text{ si } X < 0.$$

#### 2.1.2 Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

La méthode bayésienne de Lee et Heghinian ne s'exprime pas comme un test statistique classique [1][4][5]. Toutefois son interprétation vise à confirmer ou à infirmer l'hypothèse d'un changement de moyenne dans la série. Il s'agit d'une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées. La procédure repose sur le modèle suivant: Les  $\varepsilon_i$  sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance  $V^2$ ,  $\tau$  et  $\delta$  représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne:

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i = \tau + 1, \dots, N \end{cases} \quad (2)$$

#### 2.1.3 Test de HUBERT



A la différence du test de Pettitt, le test d'Hubert peut détecter plusieurs dates de rupture dans une série chronologique [6]. Le principe de cette procédure est de découper la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout le segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne. La segmentation est définie de la façon suivante : Toute série  $x_i, i=1, i_2$  avec  $i_1 \geq 1$  et  $i_2 \leq N$  où ( $i_1 < i_2$ ) constitue un segment de la série initiale des  $(x_i), i=1, \dots, N$ . Toute partition de la série initiale en  $m$  segments est une segmentation d'ordre  $m$  de cette série. A partir d'une segmentation particulière d'ordre  $m$  pratiquée sur la série initiale, on définit:  $i_k, k=1, 2, \dots, m$ .

$$nk = i_k - i_{k-1} \quad (3) \quad \bar{x}_k \text{ la moyenne du } k^{\text{ème}} \text{ segment:} \quad \bar{x}_k = \frac{\sum_{i=i_{k-1}+1}^{i_k} x_k}{n_k} \quad (4)$$

$$Dm = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \quad (5) \quad \text{avec} \quad d_k = \sum_{j=i_{k-1}+1}^{i_k} (X - K_k)^2 \quad (7)$$

### 2.2 Indice de précipitation normalisé (SPI)

Pour calculer l'indice SPI, il faut disposer idéalement de relevés mensuels s'étalant sur au moins 20 à 30 ans, mais de préférence sur 50 à 60 ans, voire plus, ce qui constitue la période optimale [7]. On ajuste une distribution de probabilité à cette longue série de relevés, puis on la transforme en une distribution normale pour que l'indice SPI moyen soit égal à zéro [8]. Les valeurs positives de l'indice SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives, des précipitations inférieures à la médiane. Le système de classification présenté dans le tableau des valeurs de l'indice SPI figurant ci-après (tableau I) [9]. Ils ont aussi défini les critères d'un épisode de sécheresse pour une échelle de temps:  $X_i$  : Précipitations annuelles,  $(\bar{X})$  : Précipitations moyennes annuelles,  $V^2$  : Variance,  $E$ : Ecart type:  $V^2 = \frac{1}{n-1} (X_i - \bar{X})^2$  ;  $E = \sqrt{V^2}$  ;  $SPI_i = \frac{X_i - \bar{X}}{E}$  (8)

Tableau I. Catégories de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs du SPI.

Valeurs du SPI	Degré d'humidité ou de sécheres	Valeurs du	Degré d'humidité ou de sécheres
2.0 et plus	Extrêmement humide	de -0,1 à -0,4	Légèrement sec
de 1,5 à 1	Très humide	de -1,0 à -1,5	Modérément sec
de 1,0 à 0	Modérément humide	de -1,5 à -2	Très sec
de 0,1 à 0	Légèrement humide	-2 et moins	Extrêmement sec
0	Normalité absolue		

## 3. Résultats

### 3.1 Détection des ruptures au sein des séries annuelles

Les résultats du test de Pettitt consignés dans le (tableau 2) présentent une rupture en 1996/1997 à la station Mechroha, les stations Hammam N'baïl et Bouchegouf ne présentent pratiquement aucune rupture sur 45 ans. Les résultats du test de rupture de Lee et Heghinian, mettent en évidence la présence de rupture dans les séries pluviométriques au niveau des trois stations: Mechroha, Hammam N'baïl et Bouchegouf, (2001/2002), (2001/2002) et (2010/2011). Les résultats de la segmentation d'Hubert appliquée aux séries chronologiques, montrent quant à eux une seule rupture en (2001/2002) dans les séries de Mechroha et Hammam N'baïl.

Tableau 2. Résultats des tests de rupture des séries de précipitations à l'échelle annuelle (1967/68 - 2011/2012).

Caractéristiques stations pluviométr	Nom station	Mechroh	Hammam N'ba	Bouchegou
	Code station	140502	140503	140505
	Latitude N	36°21	36°19	36°28
	Longitude E	7°50	7°38	7°44
	Altitude (m)	750	460	110
	Période d'observati	1967/1968 - 2011/2012		
Test de ruptur	Pettitt	1996/199	-	-
	Lee et Heghinian	2001/200	2001/2002	2010/2011
	Hubert	2001/200	2001/2002	-

### 3.2 Indice de précipitation normalisé (SPI)

L'examen de la (Fig.2) montre qu'à partir de (2002/2003) à (2011/2012) le degré d'humidité devient important au niveau de la station Mechroha, il est clair qu'en (2011/2012) l'humidité est extrême, par contre sur la période allant de (1967/68) à (2000/2001), la sécheresse atteint son maximum deux fois respectivement en (1976/77) et en (1987/88). Au niveau de la

station de Hammam N'bail, nous pouvons observer que les années entre (1967/68-1985/86) marquent une période sèche, avec son extrême enregistré durant l'année (1982/83). De (1985/86) à (2001/2002), nous assistons à une irrégularité climatique prononcée. Par contre, il y'a un retour à l'humidité à partir (2002/2003), où nous pouvons noter le maximum d'humidité durant l'année (2003/2004). L'analyse de la figure 2, montre qu'à la station de Bouchegouf, la série commence par des années humides (1967/68-1972/73), toute fois le retour vers la sécheresse s'effectue à partir de (1973/74) jusqu'à l'année (1995/96) avec une variabilité prononcée. La suite de la série est plus ou moins humide marquant toujours son irrégularité avec une année d'extrême humidité en (2002/2003).

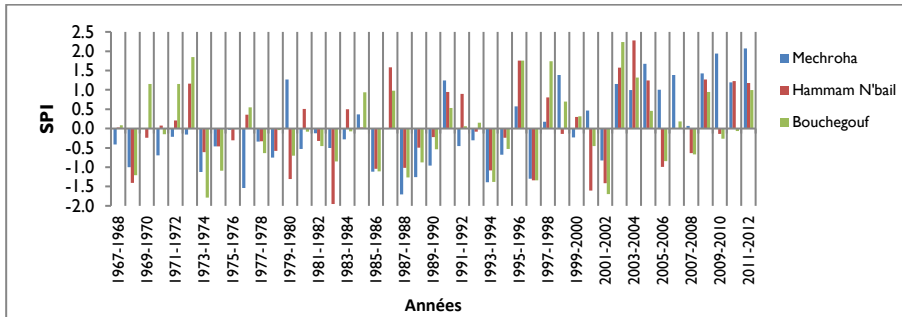


Figure 2. SPI annuel (1967/68-2011/2012) des stations pluviométriques: Mechroha, Hammam N'bail et Bouchegouf.

## Conclusion

L'analyse des séries pluviométriques sur la période (1967/1968-2011/2012), du bassin versant de l'oued Mellah, montre que les chroniques ne sont pas stationnaires et qu'elles ont subi au moins une rupture en (1996/1997) à Mechroha et (2001/2002) à Mechroha et Hammam N'bail. Ces résultats corroborent avec celles des études antérieures réalisées en Algérie par W. Khouldia et al en 2014 [10] où des ruptures primaires significatives sont détectées au niveau des séries pluviométriques du bassin versant de Medjarda à Ain Dalia (1996/1997) et El kouif (2001/2002). Il est noté que la majorité des ruptures se localisent dans les décennies 80 et 90. Les résultats de l'indice de précipitation normalisé (SPI) montrent que durant la période (1967/1968-2011/2012) et les dernières années de (2002/2003) à (2011/2012) le degré d'humidité devient important au niveau des stations pluviométriques de bassin versant de Oued Mellah.

## Références

- [1] H. Lubes-Niel, J. Masson, J. Paturel, E. Servat, Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques, Revue des sciences de l'eau, 11 (1998) 383-408.
- [2] P. Thorsten, Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection, Technical Report, (2018)18 p.
- [3] R.M.N. Fossou, N. Soro, V.B. Traore, T. Lasm, S. Sambou, T. Soro, R.K. Orou, M.T. Cisse, A. Kane, Variabilité climatique et son incidence sur les ressources en eaux de surface: cas des stations de Bocanda et de Dimbokro, Centre-Est de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest, Afrique Science, 10 (2014) 118-134.
- [4] A.F.S. Lee, S.M. Heghinian, A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables -A Bayesian approach, Revue Technometrics, 19(4) (1977) 503-506.
- [5] P. Bruneau, J.C. Claude, Application d'un modèle bayésien de détection de changements de moyennes dans une série, Revue Hydrological Sciences Journal, 28(3) (1983) 341-354.
- [6] B. Ndiaye, Impacts du climat et des aménagements sur le régime hydrologique du Mouhoun, Memoire de fin d'etudes, Ecole inter-etats d'ingenieurs de l'equipement rural 2003.
- [7] N.B. Guttman, On the sensitivity of sample L moments to sample size, Journal of Climate, (1993)1026-1029.
- [8] D.C. Edwards, T.B. Mckee, Characteristics of 20th century drought in the united states at multiple time scales, Department of Atmospheric Science, Colorado State University Fort Collin, Climatology Report No. 97-2 (1997)155 p.
- [9] T.B. Mckee, N.J. Doesken, J. Kleist, The relationship of drought frequency and duration to time scales, Eighth Conference on Applied Climatology, (1993)179-184.
- [10] W. Khouldia, Y. Djebbar, Y. Hammar, Caractérisation de la variabilité climatique : cas du bassin versant de La Medjerda (Nord-Est algérien), Revue Science Technologie Synthèse, 29 (2014) 6-23.

## Apport des SIG et des outils géostatistiques dans l'estimation des crues de projet

Jihane Ahattab<sup>1</sup>, Najat Serhir<sup>2</sup>, El Khadir Lakhal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FSSM, Laboratoire d'Automatique de l'Environnement et Procédés de Transfert, [jihaneahattab@gmail.com](mailto:jihaneahattab@gmail.com),

<sup>2</sup>EHTP, Département HEC (Hydraulique, Environnement et Climat), [najatserhir@gmail.com](mailto:najatserhir@gmail.com)

### Résumé

*Ce projet s'articule autour de la révision des méthodes d'estimation de crues les plus usuelles au Maroc dans le cadre du dimensionnement des ouvrages hydrauliques. L'objectif est de les réadapter à la lumière des crues récentes enregistrées. Le bassin de Tensift fait l'objet du bassin pilote étudié. Nous avons utilisé les outils SIG, l'ACP et la technique de Krigeage pour une bonne connaissance du système physique, pour la détection des zones homogènes et pour une estimation plus précise des paramètres régionaux qui interviennent dans les différentes méthodes d'estimation des crues.*

**Mots clés :** Méthodes de calcul des crues de projet, Arcgis, krigeage, ACP, zones homogènes, Bassin Tensift

## Use of GIS and geostatistical tools in estimation of flood peaks

### Abstract

*The aim of this work is the readaptation of the methods used to estimate flood peaks in Morocco in order to design hydraulic structures. The objective is to rehabilitate them in the light of recent recorded floods. The Tensift basin is the studied basin.*

*We used GIS tools, PCA and Kriging techniques to have a good knowledge of the physical system, for the detection of homogeneous regions and for a more precise estimation of the regional parameters that intervene in different methods.*

**Key Words:** flood peak's, Arcgis, kriging, Tensif basin, homogenous regions, hydraulic structures.

## Introduction

Les épisodes de crues que le Maroc a connus ces dernières décennies ont montré la fragilité et souvent l'incapacité des ouvrages hydrauliques. Ceci a causé beaucoup de dégâts humains et matériels, et a montré la nécessité de réadapter les méthodes de dimensionnement basées sur des données dépassées [1]. La présente étude vise à réadapter les méthodes les plus utilisées au contexte et aux données récentes du bassin d'étude qui est le bassin de Tensift en utilisant les SIG et les outils géostatistiques.

### 1. Caractérisation du bassin de Tensift

#### 1.1. Présentation du bassin

Le bassin versant du Tensift est situé au centre Ouest du Maroc entourant la région de Marrakech, entre les latitudes 32°10' et 30°50' Nord et les longitudes 9°25' et 7°12' Ouest. Il est drainé par l'oued de Tensift qui s'écoule d'Est en Ouest de sa source à l'embouchure dans l'océan Atlantique sur une longueur de 260 km. Le climat est aride ou semi-aride en général et humide dans l'Atlas et le littoral. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 200 mm dans la plaine contre plus de 800 mm sur les sommets de l'Atlas [2].

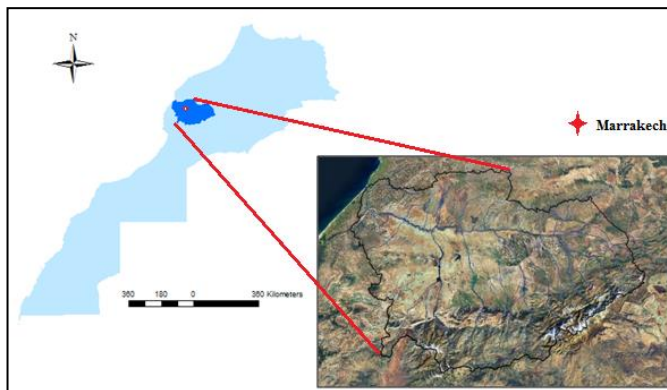


Figure 1. Carte de l'emplacement du bassin de Tensift [1]

#### 1.2. Calcul des paramètres des sous bassins versants

La détermination des paramètres caractéristiques des sous bassins de Tensift et du réseau d'écoulement est fondamentale, dans la mesure où ils permettent de calculer les caractéristiques hydrologiques. Ces derniers sont à la base de la compréhension de la réponse hydrologique de ces sous bassins par rapport aux événements pluviométriques qu'ils reçoivent. Dans ce sens, on a traité le modèle numérique de terrain MNT issu de la mission SRTM [3], par l'utilitaire ArcHydro du logiciel ArcGIS [4]. Ce travail a permis de délimiter les sous bassins versants, de tracer le réseau hydrographique et de calculer tous les paramètres nécessaires pour la caractérisation des sous bassins à savoir : la surface, le périmètre du bassin, les caractéristiques de relief (altitude moyenne, médiane, maximale et minimale et dénivelé spécifique), les longueurs caractéristiques, la pente moyenne de l'écoulement et le temps de concentration [1].

### 2. Détermination des zones homogènes

L'identification de régions homogènes constitue une étape préliminaire pour estimer une variable hydrologique d'intérêt (par exemple le débit de pointe annuel) d'un bassin versant pour lequel on ne dispose d'aucune observation (bassin versant non jauge). La régionalisation hydrologique permet aussi de compléter et consolider les observations d'un site où les données sont de quantités insuffisantes ou incertaines en valorisant les observations réalisées sur l'ensemble d'une région considérée homogène à laquelle le site appartient. La méthodologie consiste à utiliser l'Analyse en composantes principales ACP sur les précipitations mensuelles enregistrées au niveau des 23 stations pluviométriques et l'analyse des cartes des limites des sous bassins, d'occupation des sols et de la végétation, géologique et pédologique [5]. Ce travail a permis de déterminer quatre zones homogènes qui correspondent à 3 groupes de stations (Figure 2).

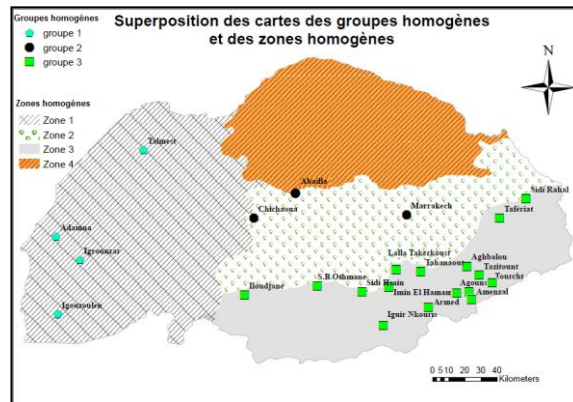


Figure 2. Carte des zones homogènes et des groupes homogènes du bassin de Tensift [5].

### 3. Apport des SIG et des outils géostatistiques dans l'estimation des crues de projet

#### 3.1. Méthodes hydrométéorologiques

Les méthodes de Gradex et rationnelle sont parmi les méthodes d'estimation des crues de projet les plus utilisées au Maroc dans le cadre du dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Elles reposent sur des paramètres régionaux calculés à partir de l'information apportée par la pluie. Or les données de précipitation proviennent généralement d'observations aux stations pluviométriques et donc d'un réseau de mesures ponctuelles, aussi dense soit-il, qui ne permet pas de calculer ces paramètres au niveau de n'importe quel point (au site d'un projet). Ainsi, et dans le cadre d'un projet, l'ingénieur fait recours aux méthodes usuelles d'interpolation pour estimer ces paramètres au site voulu : polygones de Thiessen, interpolation linéaire, IDWA (pondération avec l'inverse à la distance au carré). Ces méthodes d'interpolation ignorent la structure spatiale de la variable et peuvent omettre des situations locales très spécifiques (zones de fortes ou de très faibles valeurs). Enfin, aucun critère statistique pour juger de la précision des résultats obtenus n'est formulé [6]. Dans ce sens, on s'est intéressé à l'élaboration d'une cartographie qui précise mieux la variation spatiale du paramètre Gradex et des coefficients de Montana en utilisant le krigeage. Le choix du krigeage pour la spatialisation des valeurs du Gradex et des coefficients de Montana s'est basé sur le fait que cette méthode géostatistique a l'avantage de prendre en compte les distances entre les données (i.e. les stations de mesure), les distances entre les données et la cible (i.e. le point pour lequel on veut estimer la mesure) et la structure spatiale (grâce à l'analyse variographique qui permet de restituer des informations quant à la distribution spatiale de la variable régionalisée) [7]. Après avoir fait une analyse exploratoire des données relatives à chaque paramètre, plusieurs fonctions ont été utilisées pour modéliser le variogramme. Une comparaison a permis de retenir le modèle sphérique avec anisotropie. Les résultats détaillés dans [8] ont permis d'obtenir les cartes de modélisation du Gradex de pluie de 24h sur le bassin de Tensift (Figure 3) et des paramètres de Montana pour différentes périodes de retour ce qui permet de lire les valeurs de ces paramètres en chaque point du bassin. Les erreurs de prédiction associées aux valeurs prédites peuvent aussi être quantifiées à l'aide des cartes des erreurs élaborées.

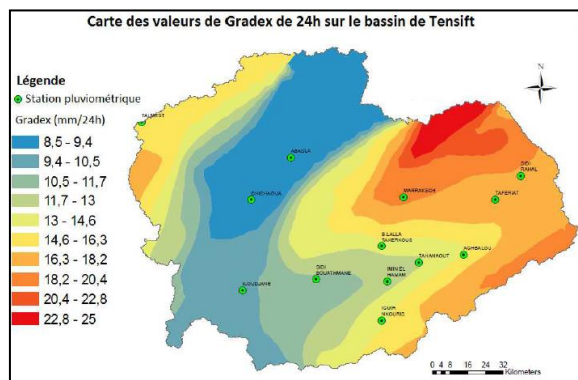


Figure 3. Carte des valeurs de Gradex de 24h sur le bassin de Tensift [8].

### 3.2. Méthodes empiriques

Les méthodes empiriques sont utilisées lorsqu'on ne possède que peu ou pas de données sur les débits des crues dans une région. Des formules sont établies pour de nombreux cours d'eau et dans divers pays, permettant d'estimer soit des débits maximums de crues, soit des débits fréquents à partir de certaines caractéristiques du bassin versant en les complétant parfois par certaines données météorologiques en particulier la pluviométrie. Ces formules contiennent toutes des paramètres régionaux qui ne peuvent être utilisés que pour le bassin ou le contexte pour lequel elles ont été établies. L'utilisation de ces formules pour le calcul des débits des crues de projet doit respecter les conditions d'utilisation pour éviter une mauvaise estimation pouvant entraîner des répercussions de sur ou sous dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

On a alors procédé à une réadaptation des formules les plus utilisées au Maroc. Les paramètres de ces formules ont été calculés pour les différentes zones homogènes du bassin de Tensift (Figure 2) en se basant sur les débits de crue de projet issus de l'étude statistique réalisée sur les débits max jour observés. Les données utilisées sont les séries des débits max instantanés enregistrés au niveau des stations hydrométriques de longueur allant de 17 ans à 43 ans et s'étalant jusqu'à 2008. L'analyse statistique effectuée par le logiciel HyfranPlus a montré qu'aucune série n'est adéquatement ajustée à la loi Gumbel qui est fortement recommandée pour décrire les débits max [9].

Cinq des formules empiriques les plus utilisées au Maroc ont été réadaptées à savoir : la formule de Myer, la formule de Fuller, la formule de Francou-Rodier, la formule de Mac-Math et la formule de Mallet Gauthier [10]. Les coefficients régionaux qui interviennent dans ces formules ont été calculés sur la base des débits observés. Ce qui a permis de déduire des recommandations pour leur utilisation, en fonction de la période de retour, de la zone homogène et de la nature des sols.

### Conclusion :

La fragilité et l'incapacité des ouvrages hydrauliques face aux événements extrêmes récents a montré la nécessité de la réadaptation des méthodes et formules d'estimation des crues de projet nécessaires pour le dimensionnement.

Dans ce sens on a travaillé sur le bassin de Tensift. La première étape était la caractérisation du bassin et le calcul de ses paramètres structurels et morphologiques. Cette étape était réalisée à l'aide de l'utilitaire ArcHydro du logiciel Arcgis et a permis de confirmer la grande hétérogénéité du bassin de Tensift et a montré l'intérêt de la régionalisation. La deuxième étape était l'identification des zones homogènes avec un comportement climatique similaire pour lesquels un même modèle d'estimation des crues peut être utilisé. L'ACP et l'analyse des cartes ont permis de mettre en évidence l'existence de quatre zones homogènes qui correspondent à trois groupes de stations. La troisième étape consistait à fiabiliser et régionaliser les méthodes usuelles d'estimation des débits max des crues à savoir les méthodes statistiques, hydrométéorologiques et les méthodes empiriques. La réadaptation des méthodes statistiques a été réalisée en choisissant les lois probabilistes qui ajustent le mieux les séries des débits maximaux observés. Ainsi on a trouvé que ce n'est pas la loi Gumbel qui ajuste ces séries contrairement à ce qui est fortement recommandée pour décrire les débits max. Pour les méthodes hydrométéorologiques, on a calculé le Gradex de pluie de 24h et les coefficients de Montana à partir de séries de pluies disponibles aux postes pluviométriques. Ensuite on a spatialisé ces valeurs ponctuelles sur le bassin de Tensift. Ceci a permis d'élaborer des cartes sur lesquelles on peut lire les valeurs de ces paramètres en chaque point du bassin et de quantifier les erreurs liées aux valeurs prédites. Pour les méthodes empiriques, on a calculé les valeurs des coefficients régionaux qui interviennent dans ces formules sur la base des débits observés. Et on a pu déduire des recommandations pour leur utilisation, en fonction de la période de retour, de la zone homogène et de la nature des sols. Ainsi, on estime que le travail de réadaptation effectué pour le bassin de Tensift, sur la base des données récentes, permettra une meilleure estimation du débit de projet et donc un dimensionnement plus sécurisé des ouvrages hydrauliques sur ce bassin.

### Références

- [1] J. Ahattab, N. Serhir, E. K. Lakhali. Vers l'élaboration d'un système d'aide à la décision pour le choix des méthodes d'estimation des débits max des crues : réadaptation aux données hydrologiques récentes. La Houille Blanche, (2015), 63-70.
- [2] SEEE Secrétariat d'état chargé de l'Eau et de l'Environnement Etude de la stratégie nationale de l'eau- Rabat : SEEE, 2009
- [3] ESRI. Arc Hydro Geoprocessing Tools. New York: ESRI (2011).
- [4] A. Jarvis, H.J. Reuter, A. Nelson, E. Guevara. Hole-filled seamless SRTM. (2008). Récupéré sur <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- [5] J. Ahattab, N. Serhir, E. K. Lakhali. Determination of homogenous regions in the Tensift basin (Morocco). Int. Journal of Engineering Research and Applications. (2015)(b), 5 (6 (part2)) 17-21.
- [6] S. Baillargeon. Le krigeage : revue de la théorie et application de l'interpolation spatiale de données de précipitations, doctoral diss., - Québec : Faculté des sciences et de génie Université LAVAL, 2325 Rue de l'Université, Canada 2005.
- [7] M. Hennequi. Spatialisation des données de modélisation par Krigeage. Strasbourg: Université de Strasbourg 2010.
- [8] J. Ahattab, N. Serhir, E. K. Lakhali. Mapping Gradex values on the Tensift basin (Morocco). Int. Journal of Engineering Research and Applications, (2014)5 (4), 1-7.
- [9] E.J. Gumbel. Méthode graphique pour l'analyse des débits de crue. New-York: La Houille Blanche. (1956)709-717.
- [10] T.M Ouarda, H. Gingras, B. Bobée, M. Lemonnier, M. synthèse des méthodes simples de régionalisation. Québec: INRS-Eau (2001).
- [11] J. Ahattab, N. Serhir, E. K. Lakhali. Réadaptation des formules empiriques utilisées pour le calcul des débits de crues de projet pour les sous bassins non jaugeés du bassin de Tensift, Maroc. Afrique SCIENCE . (2017)13(3), 308 - 316.

## Etude du transport solide à l'estuaire du bassin versant de la Soummam par le logiciel HEC-RAS

El Hadj Mokhtari <sup>1</sup>, Belkacem Merzouk <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Département Hydraulique, Faculté de Technologie, Université de M'sila, B.P. 166, Ichbilia, M'sila, 28000 – Algérie. 0021335332244. E-mails : [hadjmokhtari@gmail.com](mailto:hadjmokhtari@gmail.com) (E.H. Mokhtari), [mbelka01@yahoo.fr](mailto:mbelka01@yahoo.fr) (B. Merzouk)

<sup>2</sup> Laboratoire L3BS, Université A-Mira de Béjaïa, Algérie,

### Résumé

*L'expérience tunisienne de recharge artificielle à partir d'eaux usées traitées a débuté en 1985 au droit de la L'objectif de cette étude est de définir une méthodologie pour la quantification du transport solide dans un tronçon de rivière (Sidi Aich - Béjaïa) du bassin versant de l'Oued Soummam par l'application du logiciel HEC-RAS.*

*Trois fonctions de transport (Ackers-white, Engelund et Laursen) en utilisant la fonction d'évolution du lit sédimentaire d'Exner et la fonction de vitesse de sédimentation de Ruby ont été testées pour différentes crues. Les résultats trouvés ont été comparés avec un autre travail dans la littérature et ceux observés par la station hydrométrique de Sidi Aich (ANRH).*

**Mots clés :** Bassin versant Oued Soummam, Transport solide, HEC-RAS, WMS.

### Study of solid transport in the estuary of the Soummam basin

### Abstract

*The objective of this study is to define a methodology for the quantification of solid transport in a section of river (Sidi Aich - Béjaïa) of the Soummam Wadi basin by the application of HEC-RAS.*

*Three functions of transport (Ackers-white, Engelund and Laursen) by using the function of evolution of the sedimentary bed of Exner and the sedimentation function of Ruby were tested for various risings. The found results were compared with another work in the literature and those observed by the hydrometric station of Sidi-Aich (ANRH).*

**Key Words:** Soummam Wadi basin, Solid transport, HEC-RAS, WMS.

## Introduction

Des millions de tonnes de terre partent chaque année rejoindre la mer via les cours d'eau et une importante quantité va se déposer au fond de nos barrages [1].

L'étude du débit solide des cours d'eau naturels constitue sans doute la branche la plus difficile de domaine d'hydraulique fluviale. Le sujet est vaste et la présente étude traite d'un aspect limité au développement d'un modèle d'évolution sédimentaire d'un segment de rivière [2].

L'objectif de cette étude est l'application du logiciel HECRAS pour la quantification du transport solide dans le bassin versant Soummam en étudiant un tronçon d'une rivière.

## I. Matériel et méthodes

### I.1. Site d'étude

Le bassin versant de la Soummam est l'un des 17 grands bassins hydrologiques de l'Algérie et porte le numéro 15 sur le répertoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Il est situé au Nord-Est du pays entre 3° 60' et 5° 55' de longitude Est et entre 35° 75' et 36° 75' de latitude Nord. Le bassin versant se compose de dix sous-bassins dont les limites sont reportées sur la figure 1. Il a une forme très irrégulière, s'étendant dans la direction NE-SW et vers le SE. Il s'étend sur une superficie de 9125 km<sup>2</sup>, du contrefort des monts du Hodna au Sud à la mer méditerranéenne, le massif du Djurdjura et les chaînes côtières de Bejaïa (monts de Taourirt Ighil et de Toudja) au Nord. A l'Ouest, il est limité par le plateau de Bouira alors qu'à l'Est, il est bordé par les chaînes des Babors et le plateau de Sétif pour former ainsi une cuvette se jetant dans la mer méditerranéenne, au Golf de Bejaïa. Sur le plan limites administratives, ce bassin s'étend sur plusieurs wilayas : La Wilaya de Jijel à l'Est, les Wilaya de Tizi Ouzou et Bouira à l'Ouest et les Wilaya de Bordj Bou Arreridj et Sétif au Sud [3]. Dans cette partie d'étude, on s'intéresse au sous bassin Oued Soummam (1510) d'une superficie de 1061 km<sup>2</sup>.

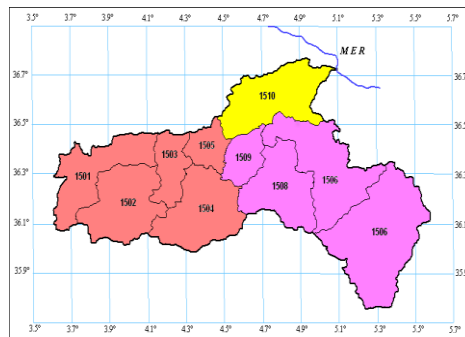


Figure 1. Les grands sous bassins versants de la Soummam [3,4]

### I.2. Matériel

WMS (Watershed Modeling System) : est une plate-forme performante de modélisation hydrologique et hydraulique. Il permet d'automatiser le processus de caractérisation physique des bassins (délimitation, morphométrie,...), le calcul et extraction des données d'entrée pour les modèles à partir des cartes et données d'un SIG (MNT, Occupation du sol, Sols, Images,...).

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) : est un logiciel de modélisation hydraulique pour les cours d'eau développé par des chercheurs américains. Il permet le calcul des écoulements permanents et non permanents dans un réseau de cours d'eau, le calcul de transport des sédiments et l'analyse de la qualité de l'eau et prise en compte du couvert de glace.

### I.3. Données et méthodes

L'étude se base sur les données de mesures instantanées de débits liquides et de concentrations des sédiments en suspension enregistrées au cours des périodes de crues (Mai 1974, Mars 1976, Mars 1980, Décembre 1981, Janvier 1982) relevées à la station de Sidi Aich. Ces données sont mesurées et fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Les débits liquides sont estimés à partir de la courbe de tarage de la station. Le choix de ces séries est motivé par le fait qu'elles sont continues et présentent moins de lacunes par rapport aux autres. De nombreuses études basées



sur des relations empiriques et des études statistiques ont été faites dans ce domaine. La majorité de ces travaux se focalisent sur la relation qui existe entre les débits liquides ( $Q_L$ ) et les débits solides ( $Q_S$ ). Il en résulte une relation de type [5-7]:  $Q_L = a \cdot (Q_S)^b$ . La pente du tronçon de la rivière étudiée (Sidi Aich - Béjaïa) varie de 3.0 ‰ à 0.2 ‰. Pour la simulation des apports solides, on a utilisé le modèle : - *Fonction de transport : Ackers-white - Méthode de tri : Exner 5 - Fall Méthodes de vitesse : Rubis*.

## 2. Résultats

La modélisation d'une rivière nécessite plusieurs étapes, à commencer par l'établissement des profils en travers des rivières qui vont permettre de limiter les différentes sections d'amont en aval. Ces profils doivent être minutieusement réalisés, car la première source d'erreur concernant la modélisation de la rivière est due aux erreurs topographiques des différentes sections [8,9]. Ces profils sont représentés par des coordonnées X-Y, où X est la distance par rapport à un point de référence, et Y est l'élévation correspondante. Le profil des sections de la zone d'étude est donné par la figure 2. Un exemple de profil en travers pour une section est donné par la figure 3. Nous avons projeté 50 sections le long du tronçon d'étude sur une longueur de 45 km (Sidi Aich - Bejaia).

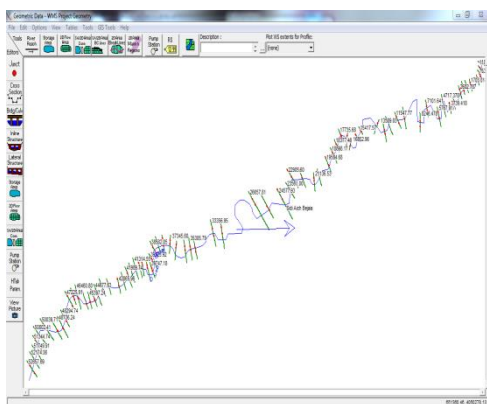


Figure 2. Conception schématique du système d'oued

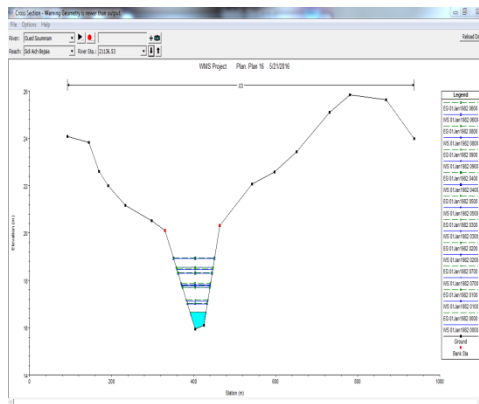


Figure 3. Conception d'une section par HECRAS (X = 136.53)

### 2.1. Les résultats de la simulation

#### Fonction de transport Ackers-white (Janvier 1982)

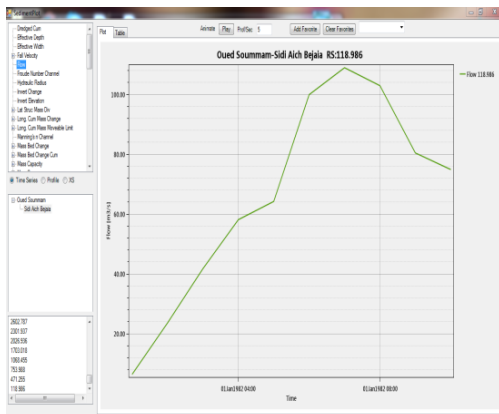


Figure 4. Evolution du  $Q_s$  en fonction du temps

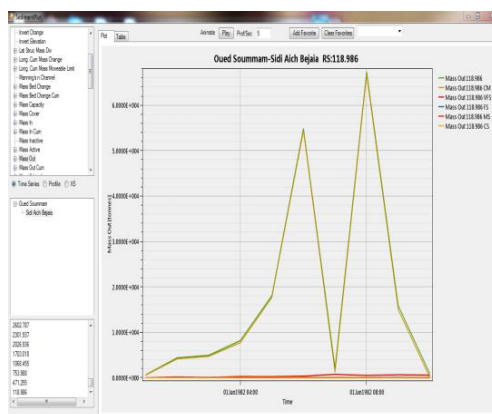


Figure 5. Evolution de la masse en fonction du temps

## 2.2. Comparaison des résultats obtenus

Dans le but de voir la méthode ou le modèle qui est proche des résultats observés par la station hydrométrique de Sidi-Aich (ANRH) [4] et une étude réalisée par Allili et al. [11], sur la quantification du transport solide en utilisant l'étude statistique et la mesure des matières en suspension à l'estuaire de Béjaia pour les quatre saisons, on a utilisé pour :

- Fonction de transport : *Ackers-white, Engelund, et Laursen*.

- La fonction d'évolution du lit sédimentaire : *Exner*

- La fonction de vitesse de sédimentation : *Ruby*.

D'après les résultats obtenus, on constate que les résultats trouvés ne sont pas compatibles avec ceux de l'ANRH. Ceci est du probablement au fait que la station hydrométrique se trouve à Sidi-Aich, à une cinquantaine de kilomètres de l'estuaire, et que nos résultats ne représentent pas une saison complète.

## Conclusion

Le logiciel HEC-RAS utilise trois formules (une fonction de transport, une fonction d'évolution du lit sédimentaire et une fonction de vitesse de sédimentation) pour quantification du transport solide. En comparant les résultats obtenus, on constate que le transport des sédiments est fortement dépendant de la fonction du transport utilisée, et l'apport solide simulé est supérieur à celui mesuré par l'ANRH au niveau de la station hydrométrique de Sidi-Aich qui se trouve à 45 km de l'estuaire. Pour mener bien cette étude, nous devons examiner attentivement le reste des fonctions ainsi que d'autres conditions aux limites (résultats d'érosion du bassin par HEC-HMS) à fin d'aboutir au modèle qui convient bien à notre cas. En conclusion, ce travail est une première étape dans la modélisation du transport solide de l'Oued Soummam en utilisant le logiciel HEC-RAS.

## Références

- [1] B. Touaibia, Erosion - Transport solide - Envasement de barrage. Cas du Bassin Versant de la Mina dans la Wilaya de Relizane. Thèse de Doctorat d'Etat en Aménagement Hydraulique, Institut National Agronomique Alger, 2000.
- [2] M. Meddi, Contribution à l'étude du transport solide en Algérie du Nord, Larhyss Journal, 24 (2015) 315-336.
- [3] N. Benhamiche, L. Sahi, S. Tahar, H. Bir, K. Madani, B. Laignel, Spatial and temporal variability of groundwater quality of an Algerian aquifer: The case of Soummam Wadi, Hydrological Sciences Journal, 61 (2016) 775 – 792.
- [4] Agence Nationale des ressources hydriques (ANRH), Données pluviométriques et hydrométriques du bassin Soummam, Documents internes. Ministère des ressources en eau, Alger, 2010.
- [5] A. Demmak, Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie Septentrionale. Thèse de Docteur - Ingénieur, Université Paris 6, 1982.
- [6] A. Guidoum Azeddine, Etude hydrologique du bassin versant d'oued Chemorah à la station de Chemorah W. de Batna, Est Algérien, Mémoire de magister, Université de Batna, 2004.
- [7] I. Touaibia, A.N. Ghenim, Estimation du biais du modèle régressif puissance "concentration-debit": cas du bassin versant du K'sob, Revue scientifique et Technique, LJEE N°19 (2011), 116-126.
- [8] A. Casas, G. Benito, V.R. Thorndycraft, M. Rico, The topographic data source of digital terrain models as a key element in the accuracy of hydraulic flood modeling, *Earth Surface Processes and Landforms*, 31 (4) (2006) 444-456.
- [9] US Army Corps of Engineers (USACE), HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 4.1. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, 609 Second Street, Davis, CA 95616 USA, 2010.
- [10] Ch. Allili, B. Laignel, N. Adjeroud, H. Bir, K. Madani, Particulate Flow at the Mouth of the Soummam Watershed (Algeria), *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 35 (1) (2015) 204 – 211.

## **Apport des SIG et de la modélisation hydraulique dans la gestion d'un réseau d'AEP Cas des localités de M'dig et Sidi Aissa, Tlemcen, Algérie**

Chérifa ABDELBAKI<sup>1,2</sup>, Mustapha CHEMIDI<sup>2</sup>, Yasser KADDOUR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire EOLE, Equipe 1, Université de Tlemcen, Algérie

<sup>2</sup> Département d'Hydraulique, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, Algérie

Adresse : BP 230 Tlemcen 13000 Algérie

E-mail : [abdelbakicherifa@gmail.com](mailto:abdelbakicherifa@gmail.com)

### **Résumé**

*La manière dont se posent les problèmes de conception et de gestion des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP), n'a cessé de se modifier, et de plus en plus rapidement. Les raisons en sont nombreuses : développement de l'urbanisation, accroissement de la consommation d'eau des individus et des industries, etc.... Pour améliorer la connaissance d'un réseau d'AEP, il est nécessaire d'analyser son fonctionnement et de prévoir son comportement. Le recours aux nouveaux outils d'investigation de cartographie numérique tels que les Systèmes d'information géographique est devenu indispensable. Pour une meilleure maîtrise du réseau, le SIG est couplé avec le logiciel de modélisation hydraulique Epanet. Une modélisation avec Epanet nécessite des données structurelles, descriptives du réseau et des données de consommation. Cet outil permet d'assister les gestionnaires dans la prise de décision pour remédier aux défaillances éventuellement décelées et de garantir en conséquence, un fonctionnement du réseau optimal. Le réseau d'alimentation en eau potable des localités de M'dig et Sidi Aissa de la wilaya de Tlemcen (Algérie) a été choisi pour illustrer cette approche.*

**Mots clés :** modélisation, SIG, réseau d'AEP, Epanet

### **Contribution of GIS and hydraulic modeling in the management of a water distribution network - Case of the localities of M'dig and Sidi Aissa, Tlemcen, Algeria**

#### **Abstract**

*The way in which the design and management problems of water distribution networks arise, has continued to change, and growing rapidly. The reasons are many: increased urbanization, increased water consumption by individuals and industries, etc. .... To improve the knowledge of a Water Distribution Network, it is necessary to analyze its operations and predict its behavior. The use of new digital mapping investigative tools such as Geographic Information System (GIS) has become indispensable. For better control of the network, GIS is coupled with the hydraulic modeling software Epanet. Modeling with Epanet requires structural, descriptive data and network data consumption. This tool can assist managers in decision-making to address the possibly to detect failures and ensure therefore the optimal network operation. The water distribution network of M'dig and Sidi Aissa localities from the municipality of Tlemcen (Algeria) was chosen to illustrate this approach.*

**Key Words:** modeling, GIS, water distribution network, Epanet

## Introduction

La maîtrise de la quantité et de la qualité de l'eau distribuée sur un territoire impose une connaissance précise du réseau. Afin de rendre plus performante la gestion technique et administrative des réseaux d'AEP et d'améliorer la qualité du service rendu aux abonnés, la nécessité s'est imposée de rassembler sur un même support informatique l'ensemble des informations liées à la localisation géographique du réseau d'eau [1]. Les systèmes d'information géographique (SIG) sont devenus des outils essentiels et utiles dans l'analyse spatiale et statistique pour la gestion des ressources en eau [2, 3 et 4]. Selon Vairavamoorthy [5], les SIG sont aussi des outils puissants pour la gestion des données spatiales et la manipulation des sorties spatiales. Un SIG fournit également un environnement de visualisation cohérente pour afficher les données d'entrée et les résultats de sortie d'un modèle. Cette capacité de SIG est très utile dans un processus de prise de décision. Dans le domaine de l'hydraulique urbaine, Blindu [6] et Abdelbaki [7, 8 et 9] présentent que les SIG permettent d'avoir une connaissance approfondie des réseaux d'alimentation en eau potable et de disposer des plans de réseaux remis à jour après chaque modification, d'associer aux éléments d'un réseau d'alimentation en eau potable, dans une base de données, les informations nécessaires pour une bonne gestion de ce dernier. Selon Tabesh et Delavar [10] et Abdelbaki [8], le développement d'un modèle de SIG et de la production de l'information requise dans les services d'eau est très long et coûteux. Il est clair, qu'au cours des dernières années, l'application des SIG dans les réseaux d'AEP sans aucun lien avec les modèles de simulation hydraulique ne peut pas soutenir tous les objectifs de gestion nécessaires. Le couplage des SIG aux modèles externes renforce leurs avantages [11, 12, 5, 13, 14 et 9]. EPANET est utilisé dans divers domaines de recherche, d'où une perpétuelle amélioration suivie d'extensions est développée, conjuguée aux SIG [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 et 9]. De ce fait, une méthodologie de mise en place du SIG pour le réseau d'alimentation en eau potable de M'dig et Sidi Aissa est élaborée. Le logiciel SIG (MAPINFO), est couplé à EPANET pour bénéficier d'un environnement performant de modélisation.

## I. Présentation de la zone d'étude

Les localités de M'dig et Sidi Aissa (figure 1) se situent à 11 km au Sud-Est de la ville de Tlemcen couvrant une superficie de 1,15 km<sup>2</sup>. Leur topographie est constituée essentiellement d'un terrain accidenté avec des altitudes variant de 550 à 800 m. Le nombre d'habitants est de 1167 habitants [22].

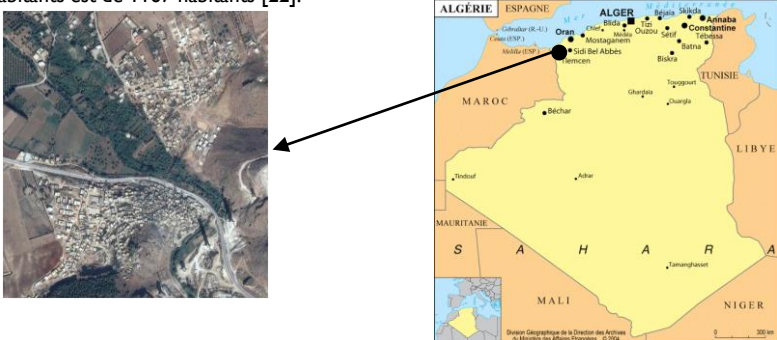


Figure 01 : Situation de la zone d'étude

L'approvisionnement en eau potable des localités de M'dig et Sidi Aissa est assuré à partir de deux catégories des ressources : les eaux souterraines et eaux de dessalement. Les deux localités sont alimentées par le forage Saf Saf 2 ( $Q=23$  l/s). Ce forage alimente le réservoir de M'dig dont la capacité est de 200m<sup>3</sup>, qui alimente à son tour M'dig & Sidi Aissa. Le réservoir de Sidi Aissa avec une capacité de 150 m<sup>3</sup> qui n'est pas encore exploité, sera alimenté par les eaux en provenance de la station de dessalement de Honaine. Le réseau de distribution de la localité M'dig et Sidi Aissa est un réseau ramifié, Le nombre d'abonnés raccordés au réseau est estimé à 422 abonnés, Les conduites du réseau de distribution sont en Acier galvanisé. Le fonctionnement actuel traduit plusieurs déficiences: discontinuité de l'alimentation, taux de pertes important, vétusté des conduites [23].

### I.1. Description du réseau d'AEP de M'dig et Sidi Aissa

L'approvisionnement en eau potable des localités de M'dig et Sidi Aissa est assuré à partir de deux catégories des ressources : les eaux souterraines et eaux de dessalement. Les deux localités sont alimentées par le forage Saf Saf 2 ( $Q = 23$  l/s). Ce forage alimente le réservoir de M'dig dont la capacité est de 200m<sup>3</sup>, qui alimente à son tour M'dig & Sidi Aissa. Le réservoir de Sidi Aissa avec une capacité de 150 m<sup>3</sup> qui n'est pas encore exploité, sera alimenté par les eaux en provenance de la station de dessalement de Honaine. Le réseau de distribution de la localité M'dig et Sidi Aissa est un réseau ramifié, Le nombre d'abonnés raccordés au réseau est estimé à 422 abonnés, Les conduites du réseau de distribution sont en Acier galvanisé. Le fonctionnement actuel traduit plusieurs déficiences: discontinuité de l'alimentation, taux de pertes important, vétusté des conduites [23].

## 2. Démarche adoptée

La modélisation consiste à analyser, à mieux comprendre le fonctionnement du réseau d'alimentation en eau potable de M'dig et Sidi Aissa et à valoriser les données afin de réaliser une étude diagnostique. EPANET [24] est choisi pour la simulation et la répartition des vitesses et des pressions. EPANET est un modèle de calcul développé par l'Agence américaine de protection de l'environnement. Dans EPANET, les réseaux de distribution sont définis par des éléments

tels que les nœuds, les conduites, les vannes et les réservoirs...etc [17 et 18]. Des analyses thématiques sont lancées pour simuler le fonctionnement du réseau de M'dig et Sidi Aissa sous SIG (MapInfo) dont l'algorithme est représenté en figure 2.

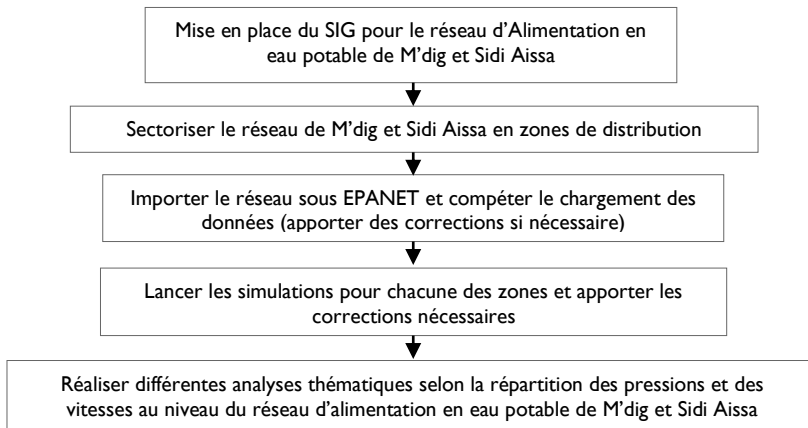


Figure 2 : Organigramme de la méthodologie

### 2.1. Mise en place du SIG pour le réseau d'AEP des localités de M'dig et Sidi Aissa

Les différentes fonctionnalités dont disposent les SIG, leur permettent d'acquérir les plans du réseau et leurs caractéristiques associées [25]. Ces systèmes sont alors particulièrement bien adaptés à la représentation des réseaux d'alimentation en eau potable [6]. La constitution du SIG pour le réseau d'AEP de M'dig et Sidi Aissa, réside dans la facilité de permettre des analyses spatiales en croisant les couches d'information stockées dans la base de données.

### 2.2. Passage SIG-EPANET

Le passage SIG – EPANET a été réalisé à l'aide de l'outil DXF2EPA [26], c'est un programme gratuit qui convertit tous les éléments de classe lignes et polygones (dans des couches en format DXF) en un ensemble de canalisations et raccords sous EPANET [24]. Des éléments supplémentaires doivent être ajoutés manuellement au modèle sous EPANET [17] tels que les réservoirs, les pompes et les vannes. Le programme de conversion peut calculer les longueurs des canalisations, les autres données du réseau telles que les altitudes des nœuds, les demandes et les diamètres des canalisations doivent être modifiées dans EPANET [24] après que le fichier converti est chargé.

### 2.3 Modélisation du réseau d'AEP de M'dig et Sidi Aissa

Après la conversion des différentes couches sous EPANET [24], les données du réseau sont saisies, tels que les diamètres et la rugosité pour les canalisations, les altitudes et les demande de base pour les nœuds ainsi que les caractéristiques des réservoirs et des vannes. Les consommations du réseau sont définies aux nœuds. L'intérêt de la modélisation est de pouvoir établir un profil de consommation propre à chaque partie du réseau à partir de la demande des nœuds du réseau de M'dig et Sidi Aissa et le débit de pointe du réseau. Les paramètres pris pour l'analyse du fonctionnement du réseau sont : les débits, les vitesses et les pressions.

### 2.4 Résultats et interprétations

Les résultats sont synthétisés dans les sections suivantes.

**-Débit :** Les conduites devront pouvoir transiter les plus forts débits instantanés en tenant compte du débit de pointe. Au niveau des capacités de stockage, la demande varie selon le mode de consommation.

**-Vitesse :** La vitesse de l'eau dans les conduites est de l'ordre de 0,5 à 1 m/s. Les vitesses supérieures à 1,5 m/s, de même que celles inférieures à 0,5 m/s sont à éviter [27]. Les faibles vitesses favorisent la formation des dépôts, difficiles à

évacuer et celles supérieures à 1,5 m/s permettent d'envisager des augmentations de consommation sans que l'utilisateur n'en souffre trop [28].

Selon l'analyse du réseau d'alimentation en eau potable selon le critère « vitesse en heure de pointe », 17 % des canalisations risquent d'avoir des problèmes de dépôt suite aux faibles vitesses d'écoulement (vitesse < 0,5 m/s). 74 % des canalisations ont une vitesse comprise entre 0,5 et 1,5 m/s (dans les normes) et 9 % des conduites ont une vitesse qui dépasse 1,5 m/s. **-Pression** : En vue de la bonne tenue des canalisations, il y a lieu d'éviter en ville des pressions supérieures à 40 m qui risquent d'apporter des désordres (fuites) et certains bruits désagréables dans les installations intérieures d'abonnés [27 et 29]. L'enveloppe des pressions au niveau du réseau est donnée dans la figure 3 pour différentes périodes de simulation.

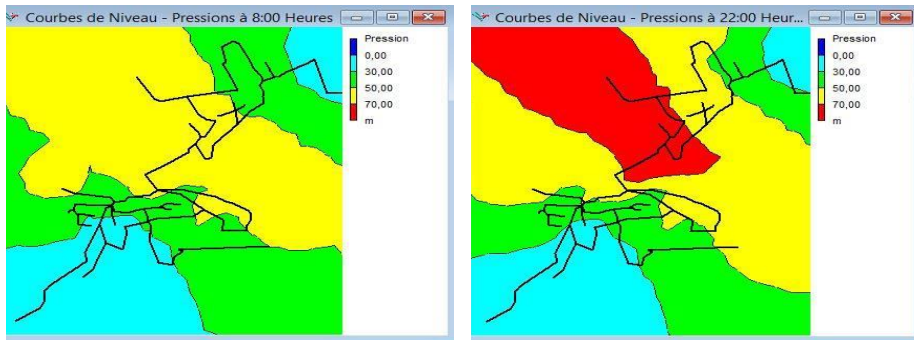


Figure 3 : Enveloppe de pression pour différentes périodes de simulation

Dans 5 % des nœuds la pression est inférieure à 10 m, ce qui est à l'origine de la desserte limitée des abonnés. A cela s'ajoute des problèmes d'hygiène et de santé résultant du mode de fonctionnement et du stockage au niveau des ménages. Quant au 78 % restants, les pressions sont comprises entre 10 et 60 m d'eau (dans les normes de distribution). Le réseau d'alimentation en eau potable des localités de M'dig et Sidi Aissa nécessite des travaux pour améliorer son rendement et réduire le taux de pertes au niveau de ce réseau.

Une Réhabilitation du réseau en tenant compte des conditions techniques du fonctionnement du réseau (vitesse et pression) et des caractéristiques du sol (matériaux adaptés) est à envisager. Reste à signaler que les opérations de saisie, stockage et mise à jour des données descriptives et géographiques permettent d'emmagasiner un historique des problèmes d'exploitation (ruptures, renouvellement, ...) utiles pour la prévision d'interventions futures sur le réseau.

## Conclusion

Ce travail a permis de disposer d'un outil pour la gestion du réseau d'alimentation en eau potable de M'dig et Sidi Aissa. Il offre aux exploitants du réseau un outil de gestion qui permet d'analyser les dysfonctionnements avec une réponse pour n'importe quel incident pouvant s'y produire et de faciliter la connaissance des travaux effectués sur le réseau. C'est un outil d'exploitation permettant au gestionnaire d'effectuer le diagnostic de son réseau, d'étudier les solutions aux problèmes rencontrés et de prévoir les situations futures.

## Références

- [1] Gandin F. & Doutré O., Le SIG du SEDIF : un outil performant au service de la gestion de l'eau potable, L'eau, les nuisances, l'industrie, 303 (2007), 53-56.
- [2] Tsihrintzis V.A., Hamid R. & Fuentes H.R., Use of Geographic Information Systems (GIS) in water resources: a review. Water Resources Management, 10(4), (1996) 251–277
- [3] Kalivas D.P., Kollias V.J. & Karantounias G., A GIS for the assessment of the spatio-temporal changes of the Kotychi lagoon, western Peloponnese, Greece. Water Resour. Manag., 17(1) (2003):19–36
- [4] Udovyk O., GIS for integrated water resources management. In: Hlavinec P, Kukharchyk T, Marsalek J, Mahrikova (eds) Integrated Urban Water Resources Management, Springer, The Netherlands, (2006) 35–42.
- [5] Vairavamoorthy K., Jimin Yan, Harshal M. Galgale & Sunil D. Gorantiwar, IRA-WDS: A GIS-based risk analysis tool for water distribution systems, Environmental Modelling & Software, 22 (2007) 951 - 965.
- [6] Blindu, I., Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques. Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure des mines de Saint-Etienne, France, 2004, 304 p.
- [7] C. Abdelbaki, M. M. Benchaib, S. Benziada, H. Mahmoudi & M. Goosen, Management of a water distribution network by coupling GIS and hydraulic modeling: A case study of Chetouane in Algeria, Applied Water Science, (2016) doi: 10.1007/s13201-016-0416-1

- [8] Abdelbaki Chérifa, Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG- Cas du groupement urbain de Tlemcen, Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, 2014, 208 p.
- [9] Abdelbaki C., Benhamouda F., Chikh M., SIG: Outils de gestion des réseaux d'alimentation en eau potable, Cas du réseau de la ville de Birtouta -Alger, Algérie, Editions universitaires européennes, 2012, ISBN : 978-3-8417-8907-5.
- [10] Tabesh M. & Delavar M.R., Application of integrated GIS and hydraulic models for unaccounted for water studies in water distribution systems, Advances in Water Supply Management, Proceedings of the CCWI '03 Conference, London, 15-17 September 2003, Edited by Cedo Maksimovic , Fayyaz Ali Memon , and David Butler , Taylor & Francis, Print ISBN: 978-90-5809-608-1, eBook ISBN: 978-0-203-83366-7.
- [11] Bartolin H., Martínez F. & Monterde N., Connecting ArcView 3.2 to EPANET 2. A full environment to manage water distribution systems using models. Water software systems: theory and applications. International Conference on Computing and Control for the Water Industry (CCWI'01). Montfort University, Leicester (UK), 6-9 Sept. 2001. pp. 355-368
- [12] Argent R.M., An overview of model integration for environmental application components, frameworks and semantics. Environmental Modeling and Software 19 (3), (2004) 219-234.
- [13] Bartolin H., Martínez F. & Cortés J., Bringing up to date WDS models by querying. An EPANET-Based GIS Geodatabase, Eighth Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium (WDSA), Cincinnati, Ohio, USA, 2008, 1-17.
- [14] George P. Panagopoulos, George D. Bathrellos, Hariklia D. Skilodimou & Faini A. Martsouka , Mapping Urban Water Demands Using Multi-Criteria Analysis and GIS, Water Resources Management, 26 (2012), 1347-1363
- [15] Ardeshir A., Saraye M., Sabour F. & Behzadian, K., Leakage Management for Water Distribution System in GIS Environment. World Environmental and Water Resource Congress, May 21-25, 2006, Omaha, Nebraska, USA, pp. 1-10.
- [16] Martínez F., Hernandez V., Miguel Alonso J., Rao Z. & Alvisi S., Optimizing the operation of the Valencia water distribution network, IWA Publishing Journal of Hydroinformatics, 09.1 (2007).
- [17] Worm, Gim, Awc, Van Der Helm, Lapikas, T, Schagen, Km Van et Rietveld Lc., Integration of models, data management, interfaces and training support in a drinking water treatment plant simulator. Environmental Modelling & Software, vol. 25 (2010), 677-683
- [18] Guidolin M., P. Burovskiy, Z. Kapelan & D.A. Savić., CWS Net: An object-oriented toolkit for water distribution system simulations, Water Distribution System Analysis, WDSA2010, Tucson, AZ, USA, Sept. 12-15, (2010). 1694 p.
- [19] Tian Yu Ma Liya ; Lei Xiaohui & Jiang Yunzhong, Construction of water supply pipe network based on GIS and EPANET model in Fangcun District of Guangzhou, Geoscience, Second IITA International Conference on and Remote Sensing (IITA-GRS) (Volume:2) Qingdao : 28-31 Aug. 2010, Page(s):268 - 271 , Print ISBN: 978-1-4244-8514-7 , INSPEC Accession Number: 11594527.
- [20] Ramesh, L. Santhosh & C. J. Jagadeesh , Simulation of Hydraulic Parameters in Water Distribution Network Using EPANET and GIS, International Conference on Ecological, Environmental and Biological Sciences (ICEEBS'2012) Jan. 7-8, 2012 Dubai, pp.350-353.
- [21] Padilla Sifontes V. & Davila Quintero J., Multi-agent geosimulation for a water distribution System, Computing Conference (CLEI), 2013, XXXIX Latin American , Naiguata: 7-11 Oct. 2013, pp. 1 - 12 , Print ISBN: 978-1-4799-2957.
- [22] APC, 2016, Schéma d'aménagement de la commune de Chetouane, Note technique, 56 p.
- [23] **ADE, 2016. Rapport technique d'exploitation, 42 p.**
- [24] Rossman, L., Epanet 2 User's Manual, Environmental Protection Agency, 2000, Cincinnati, USA. (<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html>).
- [25] Cheng-I, Ho, Min-Der, Lin, Shang-Lien, Lo., Use of a GIS-based hybrid artificial neural network to prioritize the order of pipe replacement in a water distribution network. Environmental Monitoring and Assessment, 166 (2010) 177-189.
- [26] Elad, Salomons, DXF2EPA – AutoCad DXF File Conversion Utility for EPANET, (2005) Notice d'utilisation
- [27] Dupont, A., Hydraulique urbaine, Tome 2, Edition Eyrolles, 1979, 484 p.
- [28] Valiron, F., Mémento du questionnaire de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement, Tome 1, 2, 3, Edition Lavoisier, 1994, 1262 p.
- [29] Bonin, J., Hydraulique Urbaine Appliquée aux agglomérations de petite et moyenne importance, Edition Eyrolles, 1986, 228p.

## Prévision les impacts du changement climatique sur *Aquarius cinereus* (Heteroptera: Gerromorpha) dans le nord de la Tunisie

Noura Slimani <sup>1,2\*</sup>, Eric Guilbert<sup>1</sup>, Moncef Boumaïza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UMR7179 CNRS/MNHN, Muséum National d'Histoire Naturelle, CP 50, 57 rue Cuvier, 75005 Paris, France, phone: (33) 1.40.79.34.11, fax: (33) 1.40.79.56.79, mel :

[guilbert@mnhn.fr](mailto:guilbert@mnhn.fr); [noura.slimani@laposte.net](mailto:noura.slimani@laposte.net);

<sup>2</sup>Unit of Hydrobiology, Laboratory of Environment Biomonitring (LEB), Faculty of Sciences of Bizerta, University of Carthage, Tunisia, phone: 22.14.20.08, fax: 72.590 566, [boumaizamoncef@yahoo.fr](mailto:boumaizamoncef@yahoo.fr)

### Résumé

*La Tunisie est vulnérable aux impacts du changement climatique. Les scénarios prédisent une augmentation moyenne des températures annuelles de 1°C associée à une diminution des précipitations annuelles de 4 à 27%. Les effets du changement climatique sont plus spectaculaires en particulier sur la biodiversité et les écosystèmes d'eau douce. Le maximum d'entropie (Maxent), outil principalement utilisé en écologie des populations, permet d'évaluer la distribution spatiale potentielle d'*Aquarius cinereus* (Gerromorpha, Heteroptera). L'objectif est de déterminer les causes possibles de stress hydrique en Tunisie. En outre, nos résultats montrent que les conditions environnementales telles que la température, les précipitations sont des facteurs climatiques clés qui influencent probablement la répartition des insectes d'eau, en conjonction avec les facteurs abiotiques comme pH, salinité, écoulement.*

**Mots clés :** Changement climatique, modélisation de la distribution, hétéroptères aquatiques, Gerromorpha, Nord de la Tunisie.

## Predicting impacts of climate change on *Aquarius cinereus* (Heteroptera: Gerromorpha) in Tunisia

### Abstract

*Tunisia is vulnerable to climate change impacts. Scenarios predict a mean rise in annual temperatures a 1°C associated with a decrease in annual rainfall of 4 to 27%. The effects of climate change are more dramatic especially on biodiversity and the freshwater ecosystems. Maximum entropy (Maxent) modeling is used to predict the potential climatic niches of *Aquarius cinereus* (Gerromorpha, Heteroptera). The aim is to determine the possible causes of freshwater scarcity in Tunisia. In addition, our results show that environmental conditions such as temperature, precipitation are key climate factors influencing probably the distribution of water bugs, in conjunction with abiotic factors as pH, salinity, flow.*

**Key Words:** Climate change, distribution modelling, aquatic heteroptera, gerromorpha, North Tunisia



## Introduction

Climate change is now recognized as one of the principal threats to species survival and ecosystem integrity around the world [1]. Knowledge of specific properties of these changes as direct and indirect effects of changes in temperatures, which may have an impact on species or their habitats. Constitutes central to adaptation strategies [2].

Who could also increase the vulnerability of water resources, influencing the characteristics of water supply and demand, and as well as their adequacy in space and time. It is increasingly likely that fluctuations in climate variables such as precipitation and temperature will affect biodiversity and the geographical distribution of species-friendly habitats.

In Tunisia, freshwater aquatic fauna could be threatened with extinction due to a decline of 28% in water resources by 2030 [3], and overall increase in average temperature of 2°C of Mediterranean region, to which Tunisia belongs, would undergo a warming of 1°C to 3°C. Within this framework, increasing interest is given to freshwater ecosystems of Tunisia that have been considered as biodiversity hotspots [4]. The last few decades, the projections announce a decrease in annual precipitation of 4 to 27% [3], water deficit be worsened by increased evaporation, contribute to degradation of aquatic ecosystems (drought of rivers, extinction of aquatic fauna etc.) and increase the frequency of extreme weather events, particularly droughts and floods.

To remedy this, the management of dams and the effective implementation of different water-saving strategies at all scales should play an essential role in the future availability of water resources. To this context, major efforts have been made in terms of funding and scientific research to build a large biodiversity database (eg. [www.gbif.org/species](http://www.gbif.org/species)).

Available data cover a fairly diverse range of observations or collections of animals, plants, fungi, bacteria and archaea. One of the key steps of this portal is the creation of automatic maps indicating the current and known distribution zones of these species.

However, in Tunisia, despite scientific research efforts, very few studies to date have focused on the potential impact of climate change on the geographic distribution of habitats favorable to aquatic species, particularly aquatic macroinvertebrates. This type of group is important in order to better reason for a dramatic impact on continental

aquatic ecosystems. This is justified by the fact that climate change could generate spatial dynamics in the geographical distribution of habitats favorable to these aquatic species and thus make certain regions now favorable, very unfavorable in the future and vice versa [5]. In fact, the vulnerability of freshwater organisms to climate change could explain the consequences ecological and biodiversity conservation of continental aquatic ecosystems.

This study aims to evaluate the potential impact of climate change on the geographical distribution of favorable areas of aquatic heteroptera as *Aquarius cinereus* in northern Tunisia. Specifically, the study focused on the following questions. From a bioclimatic point of view, what is the extent of the areas favorable for the distribution this species of aquatic heteroptera in northern Tunisia? With respect to climate projections, what is the potential effect of climate change on the extent of these areas and their geographical distribution by 2080?

## 1. Materials and methods

### 1.1. Study environment

This study was conducted in northern Tunisia (36°-37°N, 8°-10°E), which includes three orographic units: the "Tell" or set of reforested reliefs (Kroumirie and Mogods), the "Haut-Tell" appearing south of Medjerda, the "Dorsal" or chain of high crests extending to Cap Bon. The Tunisian north is characterized by a climate ranging from the humid (Mogods-Kroumirie region) to the sub-humid (Bizerte region) [6].

### 1.2. Model species and data collection

Heteroptera communities as Gerromorpha can be used as indicators of water quality [7] and climate change [8].

The geographical coordinates (longitude and latitude) of *Aquarius cinereus* of aquatic heteroptera were recorded from fieldwork, according to the possibility of access to the watercourse, belonging to four watersheds: Medjerda, North West, Ichkeul and North East.

Current and future climate data for the global area under review has been downloaded from the Worldclim website ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)). Three bioclimatic variables were generated from the raw climate data (precipitation and temperature) prepared and put into formats compatible with the MaxEnt program. For this purpose, the Q-GIS 2.2 software was used. The future climate projections were obtained from three global climate models (GCMs): CCCMA-CGCM2, CSIRO-MK2, and HadGEM2. For all of these models, projections for 2080 were used under the A2 emission scenario. This scenario has been used in preference because it predicts a situation considered more probable for Tunisia by 2080.

### 2.2. Modeling and model validation

MaxEnt is an automatically machine learning method that uses georeferenced species occurrence records and data on environmental variables to estimate a probability distribution of species occurrence over a geographical region. Plus, Maxent generates an estimate of habitat suitability for the species that varies from 0 (lowest suitability) to 1 (highest suitability). Finally, Maxent generates response curves for each predictor variable and has a jackknife option that estimates the relative influence of individual predictors [9].

The bioclimatic variables were subjected to a correlation test to select the least correlated ones ( $r < 0.85$ ), given the biases that the correlations have on future predictions [10]. A Jackknife test was then performed on the bioclimatic variables considered to determine which ones contribute most to the modeling. To evaluate the model, 25% of the observation

points of the species were used to test the model and 75% of the points were used to calibrate the model. The performance of the model was evaluated using the AUC (Area Under the Curve) statistic [9]. A model is said to be of good quality if the value of the AUC is greater than 0.90.

## 2. Resultat

According to results of modeling, almost 85% of the freshwater hydrographic network of northern Tunisia is currently very favorable for assembly and distribution of *A. cinereus* (Fig.1A) compared with climate variables of 2080s, model : cccma\_canesm2 under scenario rcp 8.5 (Fig.1B). These habitats, which are very favorable to the distribution of these species, are essentially between 36° and 37° north latitude, which corresponds to the wetland and the dry semi-arid zone

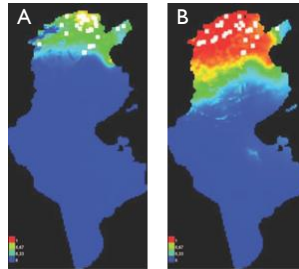


Fig.1 Maxent modelling on north Tunisia with actual climate variables Maxent modeling (A), and with climate variables of 2080s, model : cccma\_canesm2 under scenario rcp 8.5 (B).of 2080s, model : cccma\_canesm2 under scenario rcp 8.5 (B).

According to the bioclimatic projections of the cccma\_canesm2 under scenario rcp 2.6 model, this species will lose almost 50% of the habitats which are currently very favorable to its distribution by the 2080 horizon (Fig. 2A, B). This model also predicts an increase in habitats that are not very favorable to this species, mainly through the conversion of currently relatively favorable habitats. The Hadgem2\_2\_6 model gives similar trends Fig. 2E, F). However, compared to the previous model, this model predicts a higher (almost three times higher) conversion rate of very favorable habitats in unfavorable habitats, particularly between 10°.142' and 10°.867' longitude Est. Unlike other models, the Mk3\_2\_6 model (Fig.2C) predicts an extension of habitats that are very favorable to the distribution of *A. cinereus* by converting the habitats to low and relatively favorable habitats (Fig.2D). However, the model also predicts a conversion of a portion of habitat that is currently very favorable to the species into relatively favorable habitats.

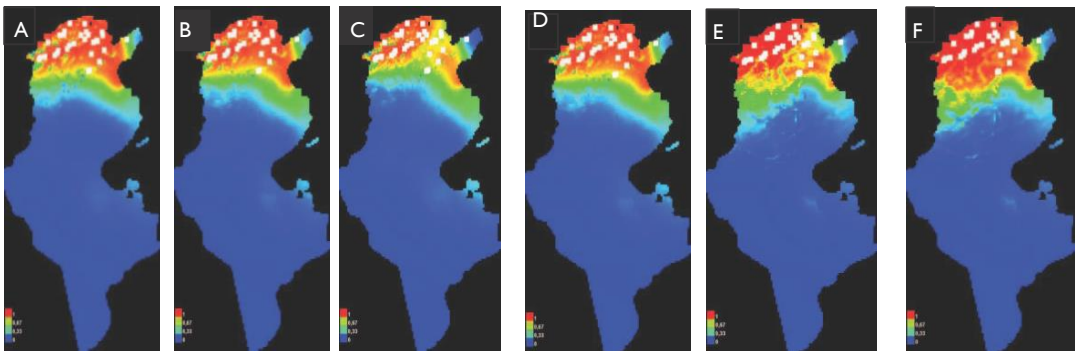


Fig. 2. Habitats favorable to the conservation of aquaruis cinereus in northern Tunisia as predicted by climate models (2080) for the conservation of Tamarindus indica as predicted by climatic models.

A: Canesm2\_2\_6; B: Canesm2\_8\_5; C: Mk3\_2\_6; D: Mk3\_8\_5; E: Hadgem2\_2\_6; F: Hadgem2\_8\_5.

We also present in figure 3 the results of the jackknife test of variable importance. Bioclim01 (annual mean temperature) appears to have the most useful information by itself. Bioclim12 (annual precipitation) and Bioclim15 (precipitation seasonality) appears to have the most information that is not present in the other variables. The area under the receiver operating characteristic (ROC) curve was 0.86. We conclude that our model performs well, as a value above 0.9 generally

indicates adequate performance. Models for this specie performed better than random, with average test AUC values ranging from 0.5 to 0.961.



Fig. 3. Statistics for A. cinereus for maxent modeling under actual climate variables.

## Discussion

Ecological niche modeling has often been cited as a powerful tool for mapping the current and future distribution of species and predicting the impact of climate change on their distribution [11]. However, these models have also been highly criticized for their weaknesses in predicting the impact of climate change on the geographic distribution of species. These weaknesses include uncertainties related to the models used, difficulties in setting ecological interactions, individual idiosyncratic responses of species to climate change, limitations of species-specific dissemination, plasticity of physiological limits, and adaptive responses of disseminating agents [10]. Moreover, the basic postulate that the current climate where a species is encountered (its current niche) is its original niche, is also debatable. It is indeed possible that, at the time of establishment of the species in its current areas of occurrence, the climate was very different (wetter or drier) and that its present presence implies several millennia of adaptation to Climate change.

In the case of distribution of A. cinereus in the fresh waters of northern Tunisia, it would be hazardous to predict a disappearance of the species from its current area by 2080. Despite these weaknesses, these models provide very important bioclimatic information in particular to identify new areas that are potentially conducive to distribution. In fact, the western Tunisia who is one of the wettest regions of North Africa [12], remain as a thermal refuge for species inhabiting currently the north Tunisia low mountain ranges (Fig. 1a and b)[13]. Nevertheless, potential displacement of habitats caused by warm climates could result in a general shift of aquatic bugs to humid northwestern region of Tunisia. According [5] warm-adapted species, which also tend to have high dispersal capacity, are expected to gradually replace species adapted to the cold, and consequently, a loss of regional genetic diversity. This information can then be used to develop appropriate production and conservation policies. In this study, in general, the models predicted a rise in temperature by 2080 in the study area (eg, a one to two-degree increase, depending on the area and model, for the temperature of the coldest quarter. The results therefore vary depending on whether a model predicts an increase or decrease in precipitation and changes in rainfall distribution. On the other side, lowland and downstream species of the study region a plus risk to warming temperatures with a decreased water resources by 28% by 2030 [3]. The key position of Tunisia between the tempered regions of the Northern Hemisphere and the intertropical regions grant its climate a special vulnerable to Climate Change [3]. Nevertheless, species-specific ecological feature may play a major part when predicting potential climate change effects [5]. Our results show that the different models predict a large reduction in areas favorable for distribution of the species related to Water Resource Stress and desertification, and therefore announcing significant implications for future availability of freshwater resources [3]. Although these three models are among the most recommended, they show disagreements and uncertainties on the evolution of rainfall in Tunisia. These differences account for the observed variations in predictions [14]. This authors suggest that uncertainties are inevitable, but that the risks are certain. Rather than predicting what will happen, these models provide a better idea of what might happen and offer adaptation alternatives for different scenarios. Thus, the increase in precipitation, especially during the hottest season

(CCCMA and Hadgem), which corresponds (in semi-arid and dry sub-humid areas) to the dryness of rivers, could actually have harmful effects on reproduction and the following year.

### Conclusion

In summary, it can be said that two of the models (CCCMA and Hadgem) predict a significant habitat regression will maintain their current level of production by 2080, while the CSIRO model predicts an extension of these habitats. However, in a large number of Mediterranean species, an adjustment of reproductive physiology to climatic conditions was observed [15]. Thus, insofar as ecological factors tolerance limits permit, local ecotypes of the species may be adjusted to changes.

Reduced rainfall and increased temperatures could also significantly disrupt the micro ecology of these habitats (eg. the hydrological regime that provides balance), increase evapotranspiration and have adverse effects on individuals' physiology, regeneration and population dynamics of macroinvertebrates in general [5].

Despite the very favorable habitat reduction predicted by two of the models, none of the models predicted an inability of the national system of protected areas to provide highly favorable habitat for the species by 2080.

### Références

- [1] K. L.Erwin, Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world, *Wetlands Ecol Manage*, 17 (2009) 71-84.
- [2] N.E. Heller, & E.S.Zavaleta., Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. *Biol. Conserv*, 142 (2009) 14-32.
- [3] L. Radhouane. Climate change impacts on North African countries and on some Tunisian economic sectors. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)*, 107(1) (2013), 101-113.
- [4] O. Beauchard, J. Gagneur, S. Brosse. Macroinvertebrate richness patterns in North African streams. *Journal of Biogeography*, 30 (12) (2003), 1821-1833.
- [5] S. Domisch, MB. Araujo, N. Bonada, SU. Pauls, SC. Jahnig, P. Haase. Modelling distribution in European stream macroinvertebrates under future climates. *Global Change Biology*, 19 (2013), 752-762.
- [6] C. Zielhofer, D. Faust. Mid-and Late Holocene fluvial chronology of Tunisia. *Quaternary Science Reviews*, 27(5) (2008), 580-588.
- [7] I.Karaouzas, K. C. Gritzalis. Local and regional factors determining aquatic and semi-aquatic bug (Heteroptera) assemblages in rivers and streams of Greece. *Hydrobiologia*, 573(1) (2006), 199-212..
- [8] D. L.Musolin, K.Fujijsaki. Changes in ranges: trends in distribution of true bugs (Heteroptera) under conditions of the current climate warming. *Russian Entomological Journal*, 15(2) (2006), 175-179.
- [9] S.J. Phillips, R.P. Anderson, R.E. Schapire. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190 (3-4) (2006), 231-259.
- [10] J. Elith, S.J. Phillips, T. Hastie, et al. A statistical explanation of MaxEnt forecologists. *Diversity and Distributions* 17 (2011), 43-57.
- [11] K. Nakao, T. Matsui, M. Horikawa, I. Tsuyama, N.Tanaka. Assessing the impact of land use and climate change on the evergreen broad-leaved species of *Quercus acuta* in Japan. *Plant ecology*, 212(2) (2011), 229-243.
- [12] M.Korbaa, M. Ferreras-Romero, M. Bejaoui, M. Boumaiza,. Two species of Odonata newly recorded from Tunisia. *African Entomology*, 22(2) (2014), 291-296.
- [13] N. Slimani, P.P. Chen, N. Nieser, P. Moulet, J.R.I. Ribeiro, M. Boumaiza, E. Guilbert. Annotated check-list of semi-aquatic bugs of Tunisia, with detailed faunistic survey of north Tunisia (Hemiptera: Heteroptera: Gerromorpha). *Entomologica Americana*, 122(1) (2016), 55-71.
- [14] J.H. Christensen, B. Hewitson, A. Busuioic, A. Chen, X. Gao, R. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.K. Kwon, R.Laprise, V. Magana Rueda, L. Mearns, C.G. Menendez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr, P. Whetton, R. Arritt, R. Benestad, M.Beniston, D. Bromwich, D. Caya, J. Comiso, R. de Elia, K.Dethloff . Regional climate projections. In *Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, University Press, Cambridge, Chapter 11, 2007, pp. 847-940.
- [15] A. Bush, V. Hermoso, S. Linke, D. Nipperess, E. Turak, L. Hughes. Freshwater conservation planning under climate change: demonstrating proactive approaches for Australian Odonata. *Journal of applied ecology*, 51(5) (2014), 1273-1281.
- [16] N. Gaaloul N, B. Laignel, Z. Nouacer, H. Habaieb, Impact des changements climatiques sur les eaux souterraines en Tunisie, *Revue Géologues*, 187 (2015) 14-19.
- [17] F. Fotsa-Ngaffo, A.P. Caricato, F. Romano, Optical properties of ITO/TiO<sub>2</sub> single and double layer thin films deposited by RPLAD, *Appl. Surf. Sci.* 255 (2009) 9684-9687.
- [18] L. Kouzana L, A. Ben Mammou, N. Gaaloul, Intrusion marine et salinisation des eaux d'une nappe phréatique côtière (Korba, Cap-Bon, Tunisie), *Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Ecologie Tropicales*, 31 (2009), 57-70

# *Colloque International*



*Ressources en Eau & Changement Climatique:*

*Impacts anthropiques et climatiques sur la variabilité des ressources en eau*

*Eau-Société-Climat 2017 (ESC-2017)*

## Sommaire

# Modélisation de l'impact des changements anthropiques et climatiques sur les ressources en eau

**Noureddine Gaaloul** (Université de Carthage -INRGREF, IRESA - Tunisie)

*Impact anthropique et climatique sur les eaux souterraines de la nappe côtière Côte orientale au Cap Bon au Nord-Est de la Tunisie*

**Boutaghane Hamouda** (Université Badji Mokhtar - Algérie)

*Variabilité temporelle des précipitations sur le nord-est algérien*

**Mohamed Habib Sellami** (Université de Carthage-ESIM-IRESA, Tunisie),

*Outils de quantification des impacts des activités anthropogéniques et du changement climatique sur les ressources en eau*

**Lina Bendjema** (Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen - Algérie), Kamila Baba-Ahmed, Bouanani Abderrazek

*Caractérisation de la variabilité climatique : cas du bassin versant de mellah (nord-est algérien)*

**Jihane Ahattab** (Faculté des Sciences Semlalia - Maroc), Najat Serhir, El Khadir Lakhel

*Apport des SIG et des outils géostatistiques dans l'estimation des crues de projet*

**Elhadj Mokhtari** (Université de M'sila - Algérie), Belkacem Merzouk

*Eude du transport solide à l'estuaire du bassin versant de la Soummam par le logiciel HEC-RAS*

**Chérifa Abdelbaki** (Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen - Algérie), Mustapha Chemidi, Yasser Kaddour

*Apport des SIG et de la modélisation hydraulique dans la gestion d'un réseau d'AEP – Cas des localités de M'dig et Sidi Aissa, Tlemcen, Algérie.*

**Noura Slimani** (CNRS/MNHN, Muséum National d'Histoire Naturelle- Paris - France), Eric Guilbert, Moncef Boumaiza

*Prévision les impacts du changement climatique sur Aquarius cinereus (Heteroptera: Gerromorpha) dans le nord de la Tunisie*

