

# JOURNAL INTERNATIONAL

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

ISSN (electronic): 1737-9350

ISSN (printed): 1737-6688

Volume 1 - Numéro 2 - Août 2014

## Eau-Climat'2014



### Ressources en Eau et Changement Climatique en Région Méditerranéenne

Ressources en Eaux Souterraines en Région Méditerranéenne

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>INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Noureddine Gaaloul</i>	<i>INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Zouhaier Nasr</i>	<i>INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Zohra Lilli Chabaane</i>	<i>INAT (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Mechergui</i>	<i>INAT (Tunisie)</i>
<i>Jamila Tarhouni</i>	<i>INAT (Tunisie)</i>
<i>Abderazek Souissi</i>	<i>INAT (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Habib Sellami</i>	<i>ESIER (Tunisie)</i>
<i>Raouf Mahjoub</i>	<i>ESIER (Tunisie)</i>
<i>Kamel Zouari</i>	<i>ENIS (Tunisie)</i>
<i>Habib Abida</i>	<i>FSSfax (Tunisie)</i>
<i>Raoudha Gafrej</i>	<i>ISSBAT (Tunisie)</i>
<i>Yadh Zaher</i>	<i>ISTEUB (Tunisie)</i>
<i>Salwa Saidi</i>	<i>FSTunis (Tunisie)</i>
<i>Lotfi Frigui</i>	<i>DGRE (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Meddi</i>	<i>ENSH, (Algérie)</i>
<i>Ahmed Kettab</i>	<i>ENP, (Algérie)</i>
<i>Azeddine Mebarki</i>	<i>Univ. Constantine (Algérie)</i>
<i>Nabil Chabour</i>	<i>Univ. Constantine (Algérie)</i>
<i>Larbi Djabri</i>	<i>Univ. Annaba (Algérie)</i>
<i>Redha Mennani</i>	<i>Univ. Betna (Algérie)</i>
<i>Nadia Machouri</i>	<i>Univ. Mohammed V (Maroc)</i>
<i>Abdelmajid Moumen</i>	<i>Univ. Mohamed I (Maroc)</i>
<i>Mhamed Amyay</i>	<i>Univ. Fès (Maroc)</i>
<i>Saeid Eslamian</i>	<i>Univ. Isfahan (Iran)</i>
<i>Diop Ngom Fatou</i>	<i>UCAD FST (Sénégal)</i>
<i>Sousou Sambou</i>	<i>Univ. Cheikh Diop (Sénégal)</i>
<i>Gil Mahé</i>	<i>IRD (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>Nadia Amraoui</i>	<i>BRGM (France)</i>
<i>Zineddine Nouaceur</i>	<i>Univ. Rouen (France)</i>
<i>Christophe Cudennec</i>	<i>Agrocampus Ouest (France)</i>
<i>Pierre Hubert</i>	<i>IAHS (France)</i>
<i>Jean Pierre Laborde</i>	<i>Professeur Émérite (France)</i>
<i>Abdelwahab Belloum</i>	<i>FAO (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Ennabli</i>	<i>Expert (Tunisie)</i>

## Préface



L'eau, élément essentiel à la vie et au développement humain, est une ressource critique dans la région méditerranéenne. Dès le début des années 70, au moment de l'émergence des questions d'environnement comme élément important de l'agenda international, la Méditerranée apparaissait naturellement comme une zone particulièrement fragile à la fois en raison de la forte pollution de la Méditerranée et des contraintes d'approvisionnement en eau douce. Aujourd'hui la région méditerranéenne ne dispose que de 3% des ressources en eau

mondiales, alors qu'elle représente 7% de la population mondiale, et on y trouve 60% de la population mondiale dite pauvre en eau.

Au début du XXI<sup>e</sup> siècle, les pressions exercées sur les ressources en eau sont de plus en plus fortes, en particulier dû à une demande croissante ainsi qu'en ce qui concerne la qualité de l'eau. L'extension des terres agricoles irriguées et l'utilisation de techniques d'irrigation non économes, la diversification des produits agricoles, l'urbanisation, le développement industriel et le tourisme sont parmi les nombreux facteurs qui contribuent à augmenter la pression sur les ressources en eau, et sont aggravés par les effets incertains du changement climatique. L'allocation des ressources en eau est donc devenue une priorité pour de nombreux pays de la Méditerranée et en particulier les pays de Maghreb, et elle a besoin des informations fournies par la recherche scientifique pour guider une gestion durable et équitable.

Les ressources en eau dans la région de Maghreb sont rares, inégalement réparties et se caractérisent par une grande variabilité temporelle et des sécheresses récurrentes au cours des dernières décennies. Pendant des décennies les ressources en eaux souterraines ont permis aux collectivités de s'adapter à des pénuries saisonnières ou pérennes de l'eau de surface en fournissant de l'eau pour les ménages, l'élevage et l'irrigation. La surexploitation excessive de ces ressources et leur vulnérabilité à la pollution sont, cependant, une préoccupation grandissante et elles incitent à reconsidérer les politiques de gestion des ressources hydrauliques. Cette gestion doit être basée sur une approche intégrée de l'approvisionnement en eau et la demande, dépendant donc d'un bon contrôle des entrées et sorties au niveau des bassins versants. Le concept de gestion intégrée des ressources en eau nécessite l'utilisation conjointe des eaux de surface et souterraines pour satisfaire la demande pour le développement socio-économique dans de nombreux pays, mais aussi l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles telles que la revalorisation (recyclage) des eaux usées, le dessalement d'eau de mer et d'eau salée et la recharge artificielle des aquifères.

Dans un contexte de pénurie croissante pour certains et face aux incertitudes liées au changement climatique, bon nombre de pays méditerranéens doivent revisiter leurs modes de gestion de l'eau et les stratégies de parade contre les risques, afin de réduire la vulnérabilité, les pertes et les dommages sur les court, moyen et long termes. S'adapter aux effets du changement climatique sur les ressources en eau nécessite des ajustements techniques, mais surtout politiques, institutionnels et comportementaux. Enfin, une stratégie adaptative de la gestion de l'eau doit être flexible et réversible pour mieux gérer l'incertitude

Les pays de Maghreb (Tunis, Algérie, Maroc) a soutenu les efforts en visant à gérer durablement leurs ressources en eau. Cela se traduit par le soutien à l'amélioration des connaissances scientifiques qui permettent une prise de décisions éclairée sur les processus, et à la facilitation des opportunités de coopération et d'échange de connaissances et d'expériences qui permettent de mieux répondre aux questions difficiles auxquelles sont confrontés, en particulier, les zones arides et semi-arides.

Nous espérons que les découvertes scientifiques et des discussions qui s'y rapportent seront utiles pour orienter la gestion intégrée de l'eau dans la région et au-delà. Ainsi, dans la mise en œuvre des politiques d'adaptation de la gestion de l'eau, les défis politiques et institutionnels pourraient en définitive apparaître plus grands que ceux liés aux innovations techniques ou à l'accès aux technologies.

Nouredine Gaaloul

Professeur de l'Enseignement Supérieur Agricole (INRGREF)

Président de l'ASTEE *Tunisie*

Président et Coordinateur Eau-Climat'2014

## Sommaire

<b>Ressources en Eaux Souterraines en Région Méditerranéenne</b>	<b>6</b>
<b>Noureddine Gaaloul</b> (INRGREF-IRESA-Université de Carthage - Tunisie) <i>L'expérience Tunisienne en Recharge Artificielle des Nappes (RAN) et la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.</i>	<b>7</b>
<b>Badaoui Imane</b> (Univ. bechar - Algérie), Mekkaoui A., Bendida Ali. <i>Evaluation de la vulnérabilité d'un aquifère en zone aride : comparaison des méthodes appliquées pour la nappe du Turonien (Bechar, Sud Ouest algérien)</i>	<b>11</b>
<b>Abla Rihani</b> (Univ. Batna - Algérie), Menani R. <i>Les ressources hydriques dans le massif des Aures- Cas de la vallée de Bouzina (Nappe de l'Eocène-Maestrichtien)</i>	<b>15</b>
<b>Tahar Kebir</b> (Univ.Moulay Tahar de Saida-Algérie), Baba Ahmed Abderrazak <i>Impact environnemental des rejets industriels issus de la société ALZINC alentours des sols agricoles</i>	<b>19</b>
<b>Hamza Jerbi</b> (INAT - Tunisie), Massuel S., Tarhouni J., Lachaal F., Riaux J., Burtej., Leduc C. <i>La nappe de la plaine de Kairouan soumise aux changements globaux : Quels effets sur la ressource?</i>	<b>23</b>
<b>Ahmed Bousmaha</b> (Univ. Larbi Ben M'Hidi Oum El Bouaghi - Algérie) <i>La gestion des ressources en eau en Algérie :Enjeux et stratégies</i>	<b>27</b>
<b>Fadia Gafsi</b> (Univ. Montpellier - Tunisie) <i>Vers une nouvelle gestion de ressource en eau adaptée aux risques climatiques et politiques dans le sahel de Sousse et Monastir</i>	<b>31</b>
<b>Samia Bounab</b> (Univ. Amira - Algérie), Bousnoubra K <i>Évaluation Quantitative des Eaux Souterraines de la région Annaba el Tarf (nord est Algérien)</i>	<b>35</b>



# Ressources en Eaux Souterraines en Région Méditerranéenne

## L'expérience Tunisienne en Recharge Artificielle des Nappes (RAN) et la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution

**Noureddine Gaaloul**

Professeur Universitaire à l'Institut National des Recherches en Génie Rural Eaux et Forêts  
(INRGREF) Rue Hédi Karray, B.P.10- 2080 Ariana Tunisie,  
E-mail: [gaaloul.noureddine@iresa.agrinet.tn](mailto:gaaloul.noureddine@iresa.agrinet.tn)

### Résumé

L'expérience tunisienne de recharge artificielle à partir d'eaux usées traitées a débuté en 1985 au droit de la nappe de l'oued Souhil, au nord-ouest de Nabeul. A travers cette expérience, on visait à la fois à reconstituer une partie des réserves de la nappe, fortement sollicitée, et à améliorer la qualité microbiologique des eaux usées traitées par recours à l'effet auto-épurateur de la zone non saturée. Les résultats obtenus sont très satisfaisants : remontée des niveaux piézométriques, amélioration de la qualité physico-chimique des eaux. Soulignons que la qualité de l'effluent utilisé pour la recharge, notamment sa teneur en matières en suspension, a une incidence directe sur le fonctionnement, l'infiltration d'effluent insuffisamment épurés pouvant entraîner l'abandon pur et simple du système de recharge. L'utilisation des isotopes du bore en tant que traceurs de la recharge artificielle des eaux souterraines par des eaux usées traitées et de la progradation du biseau salé, s'avère particulièrement performante en intégrant au sein d'un même échantillon les trois pôles de mélange potentiels.

**Mots-clés :** Recharge, Nappe phréatique, Piézometris, Salinité, Cap-Bon, Tunisie

## Tunisia's Experience in Artificial Recharge of the aquifers (RAN) By considering the groundwater vulnerability to pollution

### Abstract

*In Tunisia, groundwater is the only dependable source for urban and agricultural water supply. Groundwater quality deteriorates progressively overall in the Cap Bon and in the Tunisian Sahel. The Tunisia's experience on Artificial Recharge of Groundwater' is the first in the semi-arid areas and has updated information on various aspects of investigation techniques for selection of sites, planning and design of artificial recharge structures, their economic evaluation, monitoring and technical auditing of schemes and issues related to operation and maintenance of these structures. Treated wastewaters are used to recharge aquifer (Cap Bon) and irrigate areas. The history of this operation goes back to the 1970s. It concerns the recharge of the aquifer via a connection to the main pipe of the irrigation network. Besides reclaimed water reuse for agricultural purposes, seasonal recharge of the shallow and sandy aquifer of Nabeul Oued Souhil has been performed since 1985.*

*In 2008, a new pilot site was established in the Korba-Mida area to recharge the aquifer with treated domestic wastewater from the Korba treatment plant. The aim was a better evaluation of the mixing processes between seawater, groundwater bodies and the new recharge contributor, and of the changes due to intense groundwater withdrawal, which will be useful from a water resource management perspective aimed at controlling human interference on the Korba plain groundwater.*

**Keywords:** Artificial Recharge Aquifer (RAN), Pheratic aquifer, Piezometer, Salinity, Cap Bon, Tunisia.



## Introduction

Dans les régions arides et semi-arides, des pays tels que la Tunisie font face à des problèmes croissants de déficit en eau, la réutilisation des eaux usées (REUT) pour la recharge des nappes et l'irrigation des cultures est devenue une importante stratégie dans la conservation des ressources en eau. Dans ces régions à faible ressource en eau, la REUT est devenue une nécessité et doit faire partie intégrante de la stratégie nationale de mobilisation de toutes les ressources disponibles face au stress hydrique qui se profile à long terme. Elle cible le plus souvent le secteur de l'irrigation qui représente, en moyenne, plus de 80% de la consommation d'eau conventionnelle. La recharge artificielle des nappes phréatiques par les eaux usées est une autre forme de réutilisation qui permet de compenser la disponibilité constante des eaux usées et la demande variable de l'agriculture. La réutilisation agricole des eaux usées est un des moyens de faire face à ces problèmes. D'autres opportunités de réutilisation des eaux usées telles que la recharge de nappes sont à l'étude. La Tunisie compte 71 nappes phréatiques surexploitées avec un taux de 146%. Les ressources renouvelables de ces nappes sont évaluées à 385 millions de m<sup>3</sup>, soit plus de 52% des ressources renouvelables de l'ensemble des nappes phréatiques de la Tunisie. A ce rythme d'exploitation, les nappes phréatiques risquent la pollution et la dégradation de leurs ressources exploitables. D'ailleurs, des signes de désertification ont été observés au niveau de la région de la Côte orientale du Cap Bon qui a enregistré une surexploitation des ressources en eau de la nappe qu'elle renferme et une salinisation élevée des eaux souterraines. La recharge artificielle de ces nappes par des eaux usées traitées (produites par les STEP de l'ONAS) nécessite la disponibilité de cette catégorie d'eau en qualité et en quantité satisfaisantes. La nappe côtière du Plio-Quaternaire de la région de Korba-Mida (Tunisie) a été très sollicitée par les agriculteurs ce qui a engendré probablement une inversion du gradient hydraulique et par conséquent l'avancée du biseau salé. Ceci se traduit normalement par une évolution spatio-temporelle de la piézométrie et de la qualité chimique des eaux.

## L'expérience Tunisienne en matière de Recharge Artificielle des Nappes (RAN)

La Tunisie produit actuellement (2010) 250 millions de m<sup>3</sup> d'EUT à travers 100 STEP réparties sur l'ensemble du pays et a développé une expérience encourageante dans cette activité. La stratégie du pays relative à la recharge artificielle à partir des EUT repose sur la mobilisation et la valorisation de cette ressource en eau non conventionnelle, la mise en place de projets opérationnels de recharge de nappes et le développement des ressources en eau, tout en veillant à la préservation de la santé publique et la protection de l'environnement. La recharge artificielle des nappes a été introduite en Tunisie en tant que composante importante de la gestion intégrée des ressources en eau depuis les années soixante-dix. Elle permet de sauvegarder et de maintenir l'équilibre hydrodynamique des nappes aquifères fortement sollicitées par les prélèvements et les protéger contre les effets de la baisse des niveaux piézométriques aboutissant à la dégradation de la qualité chimique de leurs eaux par l'intrusion d'eau salée dans les nappes côtières ou limitrophes des dépressions salées. Les premiers essais de recharge artificielle à partir des eaux conventionnelles menées en Tunisie ont été effectués en 1970, dans le but d'alimenter la nappe de Mateur à partir d'un puits de surface (Ennabli, 1980). Depuis cette date, les expériences se sont multipliées dans plusieurs régions : nappes de Teboulba, de Mornag, de Grombalia, de Kairouan, etc. En ce qui concerne les aquifères du Cap Bon, les premières expérimentations de recharge artificielle ont été entamées entre 1975 et 1978 sur la nappe de Grombalia, à partir des eaux de la retenue du barrage Bézik, par le biais de bassins d'infiltration et de puits d'injection. Elles ont permis de vérifier la faisabilité de l'opération et de définir les conditions pratiques de réalisation.

L'expérience Tunisienne en matière de recharge artificielle par les eaux usées traitées a commencé depuis la création du périmètre public irrigué de la Soukra en 1956. Le projet d'irrigation avec les E.U.T entamé en 1960 à Soukra visait essentiellement la préservation de la qualité des eaux de la nappe. En effet, l'objectif était d'éviter le prélèvement excessif des eaux de nappe et l'intrusion marine conséquente pouvant augmenter considérablement la salinité.

En décembre 1986 et suite à un projet financé par le PNUD (RAB 080) ayant parmi ses composantes la construction d'une station expérimentale de recharge artificielle à partir des eaux usées traitées de la STEP SE4 de Beni Khiair et la disponibilité de l'infrastructure nécessaire. Cette expérience dans le domaine de la recharge des nappes selon le procédé d'infiltration-percolation par les eaux usées traitées a débuté en 1985 dans le cadre d'un projet expérimental réalisé sur l'Oued Souhil au nord-ouest de Nabeul. Une fraction des rejets de la station de l'agglomération est refoulée vers un réservoir de 4 000 m<sup>3</sup> située à l'amont d'un périmètre irrigué d'agrumes. En dehors des périodes d'irrigation cette potentialité a été mobilisée pour un stockage saisonnier dans la nappe phréatique. A travers cette expérience, on visait à la fois à reconstituer une certaine proportion des réserves de la nappe, fortement sollicitée, et à améliorer la qualité microbiologique des eaux usées traitées par recours à l'effet auto-épuration de la zone non saturée. Les résultats obtenus sont très satisfaisants : remontée des niveaux piézométriques, amélioration de la qualité physico-chimique des eaux. La recharge de nappe par bassin avec des eaux usées, après un Traitement secondaire s'effectue sans nuisances sur l'environnement immédiat. Soulignons que la qualité de l'effluent utilisé pour la recharge, notamment sa teneur en matières en suspension, a une incidence directe sur le fonctionnement, l'infiltration d'effluent insuffisamment épurés pouvant entraîner l'abandon pur et simple du système de recharge (Rekaya, et al.1988). Deux autres projets de recharge sont prévus, le premier est en cours de réalisation dans la région du Cap-Bon (à Korba), dans le cadre du projet de Tunis-ouest et le deuxième sera financé par la coopération japonaise dans l'île de Djerba. Par ailleurs, dans le cadre du 11<sup>ème</sup> plan, 10 autres projets ont été proposés pour étude. En



mai 2008, un nouveau site pilote a vu le jour dans la région de Korba-Mida pour recharger la nappe de la Côte Orientale du Cap-Bon par les eaux usées traitées de la station d'épuration des eaux usées domestique de Korba.

### **Caractéristiques et recharge de la nappe Oued Souhil**

La nappe aquifère de l'Oued Souhil (Région de Hammamet) se situe au Sud de la péninsule du Cap Bon (Nord Est de la Tunisie) et fait partie d'un grand système aquifère côtier que constitue la nappe phréatique de Nabeul-Hammamet s'étendant sur une superficie dépasse 100 km<sup>2</sup>. L'Oued Souhil correspond à un petit bassin versant d'une superficie de 20 km<sup>2</sup>. La partie amont du bassin est dominée par des affleurements attribués au Pliocène dont la composante essentielle est sablo-gréseuse avec quelques passages argileux. L'épaisseur des grès dépasse 300 m. La zone médiane du bassin montre des affleurements argileux pliocènes. Ces derniers ont une épaisseur dépassant 200 m et disparaissent vers l'aval sous le recouvrement alluvionnaire récent d'une épaisseur relativement très réduite (10 à 20 m) et constitue exclusivement de sables. L'ensemble de la nappe phréatique de la région Nabeul-Hammamet est exploitée par des puits de surface dont la profondeur varie de 8 à 20 m. L'exploitation intensive de cette nappe dans la zone aval a provoqué depuis des dizaines d'années un abaissement général du niveau de la nappe notamment dans la zone amont, et une dégradation de la qualité des eaux des puits qui, le long de la côte ne cessent d'accuser des valeurs de salinité relativement élevées (3 à 6 g/l). La nappe s'écoule vers le Sud-Est, en direction du littoral. Elle est alimentée, à l'amont, par les pluies et par les niveaux aquifères du Pliocène. Les alluvions de l'Oued Souhil jouent un rôle dans le fonctionnement de la nappe. Le site de recharge est situé à 2.5 km au Nord-ouest de la ville de Nabeul, et à 3 km de la mer Méditerranéenne. La station est située dans une région qui se caractérise par un climat à hiver pluvieux et frais sans gelées. La pluviométrie annuelle est de 391,6 mm. La température est relativement élevée en été, mais considérée comme moyenne le reste de l'année. Les vents dominants sont du Nord / Nord-Ouest pendant la période allant du mois de novembre jusqu'au mois de mars. La région est considérée comme zone ventée. L'épaisseur de la zone non saturée est de 12 m. L'épaisseur de la nappe est situé entre 2 et 3 m. La lithologie est composée de sables grossiers (Rekaya, et al.1988).

En dehors des périodes d'irrigation cette potentialité a été mobilisée pour un stockage saisonnier dans la nappe phréatique. Suite à cette expérience on visait à la fois de reconstituer une certaine proportion des réserves de la nappe fortement sollicitée, et d'améliorer la qualité microbiologique des eaux usées traitées rechargées en faisant valoriser l'effet auto-épuration de la zone non saturée au cours de la recharge. Les résultats obtenus à la suite de ces expérimentations soulignent l'aspect positif de l'opération aussi bien sur le plan hydraulique que chimique et biologique, puisqu'on a constaté une remontée des niveaux piézométriques et une amélioration de la qualité physico-chimique des eaux. La recharge de nappe par bassin avec des eaux usées, après un traitement secondaire s'effectue sans nuisances sur l'environnement immédiat. La qualité de l'effluent utilisé pour la recharge et notamment la teneur en matière en suspension à une incidence directe sur les conditions de fonctionnement et les contrainte d'entretien des bassins, l'infiltration d'effluent insuffisamment épuré peut entraîner l'abandon du système de recharge de nappe en raison d'une charge d'entretien trop importante. (Rekaya, et al.1988). Les analyses chimiques faites avant le démarrage de la recharge, montrent que les eaux souterraines sont contaminées par les nitrates (234-335 mg/l). Après la recharge, la zone non saturée a permis d'améliorer la situation qualitative de la nappe, elle a permis la purification des EUT qui ont dilué au environ du site, les eaux souterraines, les concentrations en nitrate baissent à 50 mg/l. La comparaison des résultats obtenus une semaine avant la recharge avec ceux obtenus au démarrage de l'opération mettent en évidence l'importance du renouvellement de l'eau dans les piézomètres avant le prélèvement des échantillons destinés à l'analyse microbiologique. L'importance de la contamination bactériennes des eaux de nappe due à la recharge par les EUT est influencée par plusieurs facteurs :

- L'importance de la contamination des eaux ainsi que sa durée dépend fortement de la situation des points de contrôle par rapport aux directions des écoulements en zone saturée. La connaissance de ces écoulements et de leur variation dans le temps est très importante. Elle est nécessaire à l'explication de toutes les modifications au niveau de la nappe et de la qualité de ses eaux ; elle permet aussi de délimiter correctement le périmètre influence par la recharge. Ce périmètre doit être bien connu et encadré par un réseau de forages qui permettent la reprise des eaux infiltrées.
- L'action épuration du sol vis à vis des polluants d'origine microbiologiques pourrait être sensiblement améliorée par un approvisionnement suffisant et continu de la zone non saturée en oxygène. Ce qui revient à augmenter l'intermittence des injections d'EUT dans les bassins d'infiltration.
- En général, lorsque la distance par rapport aux bassins d'infiltration augmente, la contamination engendrée par la recharge est moins importante.
- L'épuration par le sol est faible lorsque la tranche de sol traversée par les eaux infiltrées est peu épaisse.

### **Nature du Monitoring géochimique de la nappe Korba-Mida**

La nappe de Korba-Mida fait partie de la plaine de la Côte Orientale du Cap-Bon. Elle est limitée au sud par l'oued Boulidine, au nord par l'oued Lebna, à l'ouest par le Jbel Abderrahmen et à l'est par la mer Méditerranée. Le climat semi-aride de la région se caractérise par une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 400 et 500 mm. Les activités agricoles dominant (cultures maraîchères, viticulture, arboriculture, céréaliculture et élevage) mais la région héberge aussi des industries agroalimentaires, textiles, laitières et papetières. L'aquifère est formé par des terrains Mio-Plio-Quaternaires. Le réseau hydrographique, à pente généralement faible, constitue une source d'alimentation de la nappe côtière. Les eaux de nord transférées par canal Medjerda – Cap Bon qui alimentent les périmètres irrigués et assurent la recharge artificielle des sites de Diar El Hojje et Lebna village. Le système aquifère est exploité par 9 239 puits de surface, dont 6 069 sont équipés de pompes. Le système aquifère de la région de Korba-Mida, montre que les dépôts détritiques du Plio-Quaternaire constituent un réservoir potentiel logeant un aquifère à nappe libre. L'infiltration directe de la pluie

(475 mm/an) alimente les affleurements quaternaires et bénéficie indirectement au Pliocène, puisqu'il n'y a pas d'écran imperméable entre les deux formations ; inversement, un apport peut se produire du Pliocène vers le Quaternaire (Gaaloul et al., 2008). La station d'épuration de Korba, mise en service en juillet 2002, est une station à bûches activées à faible charge. Elle est dimensionnée pour un débit de 7500 m<sup>3</sup>/j. Un débit moyen de l'ordre de 3500 m<sup>3</sup>/j des effluents de la station d'épuration de Korba est destiné à la réalimentation de la lagune de Korba, afin de compenser le rejet des eaux usées qui s'y faisait directement avant la construction de la station d'épuration. Après leur passage par les ouvrages de prétraitement mécanisés, les eaux usées subissent une élimination des nitrates par dénitrification anoxique au niveau du réacteur biologique. Une épuration tertiaire par trois bassins de maturation, fonctionnant en série, affine la qualité des effluents avant le rejet dans le milieu naturel et la lagune côtière de Korba. La salinité moyenne des eaux usées traitées qui serviront pour la recharge artificielle de la nappe, est de 3.3 g/l, avec un maximum de 5 g/l, et un minimum de 2.5 g/l (Gaaloul., 2008).

L'interprétation des isotopes du bore est faite en croisant les données sur l'inverse de la concentration du bore et de son rapport isotopique  $\delta^{11}\text{B}$ . Trois pôles permettent de décrire l'ensemble des échantillons (Gaaloul et al. 2009) :

**1- un pôle eaux de sebkha.** La signature isotopique du bore des ces eaux (puits 235, 20 et piézomètre 11) témoigne d'un fort enrichissement avec des valeurs de  $\delta^{11}\text{B}$  comprises entre 41,5 et 48 ‰. Le  $\delta^{11}\text{B}$  permet de confirmer une forte influence marine de ce pôle bien que dilué par des apports d'eaux douces, comme suggéré par les teneurs en bore ( $463 \mu\text{g.L}^{-1} < [\text{B}] < 553 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) nettement inférieures à celles de l'eau de mer ( $+39 \text{ ‰} < \delta^{11}\text{B}_{\text{MER}} < +40,5 \text{ ‰}$  et  $4000 \mu\text{g.L}^{-1} < [\text{B}_{\text{MER}}] < 5500 \mu\text{g.L}^{-1}$ ).

**2- un pôle «nappe superficielle».** Les échantillons des puits 60, 151, 157 et 231 sont caractéristiques des eaux souterraines locales. Leurs signatures  $\delta^{11}\text{B}$ , typiquement marines ( $35 \text{ ‰} < \delta^{11}\text{B} < 40,6 \text{ ‰}$ ), associées à des teneurs relativement faibles en bore ( $192 \mu\text{g.L}^{-1} < [\text{B}] < 220 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) correspondent à une recharge littorale alimentée par un régime de précipitations méditerranéenne.

**3- un pôle «recharge superficielle»** représenté par les eaux usées des stations de recharge de Korba ( $13,9 \text{ ‰} < \delta^{11}\text{B}_{\text{RECHARGE}} < 19,5 \text{ ‰}$  et  $637 \mu\text{g.L}^{-1} < [\text{B}_{\text{RECHARGE}}] < 697 \mu\text{g.L}^{-1}$ ), principalement du fait des borates des lessives. Leurs signatures  $\delta^{11}\text{B}$  sont toutefois sensiblement plus élevées, reflétant ainsi le différentiel de signature  $\delta^{11}\text{B}$  des eaux consommées par les populations locales. Il apparaît donc une signature isotopique des eaux de recharge artificielle de la zone d'étude extrêmement bien contrainte au regard de la variabilité  $\delta^{11}\text{B}$  des eaux (Kloppmann et al., 2008 ; Casanova et al., 2007).

Le référentiel isotopique montre deux évolutions distinctes :

- une droite de mélange entre la recharge et les eaux du pôle « sebkha » matérialisée par la station et les piézomètres 2 et 11 distants de 2 km ;
- une droite de mélange entre la recharge et les eaux de la nappe matérialisée par la station et les piézomètres 15 et 16 distants de 1 km.

## Conclusions

Les conditions climatiques et pédologiques des nappes de la région du Cap Bon (Nabeul et la Côte Orientale) sont à l'origine d'une exploitation intensive des eaux souterraines aux fins d'irrigation. Ceci pose le problème de la protection de la nappe contre l'invasion saline et la contamination des eaux douces : étant directement ouvert sur la mer, son exutoire principal, l'aquifère côtier est d'autant plus exposé qu'il est déprimé piézométriquement. Ces résultats préliminaires participent à la restauration des nappes surexploitées dont le niveau piézométrique baisse rapidement et dont la salinité augmente sensiblement en fonction du pompage des eaux. Elle permet de stopper l'avancée du biseau salé dans les aquifères côtiers et permet d'obtenir une eau de bonne qualité sans traitement préalable. Dans un contexte opérationnel d'un projet de mitigation des impacts du changement climatique sur les nappes littorales, l'utilisation des isotopes du bore en tant que traceurs de la recharge artificielle des eaux souterraines par des eaux usées traitées et de la progradation du biseau salé, s'avère particulièrement performante.

## Références

- [1] Casanova J., Kloppmann W., Negrel Ph., Machard de Gramont H., Al Khabouril A.B. (2007). Geochemical and isotopic tracing of seawater intrusion in the Wadi Ahin coastal aquifer (Sultanate of Oman). In reporting of the IV International symposium on the technology of seawater incursion in coastal aquifers (TIAC'07), T4: 1 – 10.
- [2] Ennabli M. (1980). Etude hydrogéologique des aquifères Nord Est de la Tunisie par une gestion intégrée des ressources en eau. Thèse de doctorat d'état, université de Nice, 400 p.
- [3] Gaaloul N., Casanova J., Rekaya M., Jlassi F., Cary L., (2009). Les isotopes du bore, traceurs de la recharge artificielle des eaux souterraines de la nappe de Korba-Mida par les des eaux usées traitées. Annale de l'INRGREF, impression en cours.
- [4] 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, N°159, pp.59-64.
- [5] Gaaloul, N. (2008). Gestion intégrée des ressources en eaux souterraines cas de la plaine du Cap Bon. La Houille Blanche. Revue Internationale de l'Eau N°5 .pp.38-44.
- [6] Rekaya M., Plata Bedmar A. (1988). The Tunisian Experience in Ground Water Artificial Recharge by Treated Wastewater. Proceedings of the International Symposium, California 23-27 August 23-27, Ed. ASCE, pp. 612-627.
- [7] Kloppmann.W. Vengosh.A. Guerrot.C. Millot.R., Pankratov.I. (2008) Isotope and ion selectivity in reverse osmosis desalination: Geochemical tracers for man-made freshwater, Environmental Science and Technology, Vol. 42, Issue 13, p. 4723-4731.

## **Evaluation de la vulnérabilité d'un aquifère en zone aride : comparaison des méthodes appliquées pour la nappe du Turonien (Bechar, Sud Ouest, Algérie)**

Imane BADAOU I, Abdrahmane MEKKAOU I. Ali BENDIDA 3.

(1) Ingénieur de laboratoire, Université Béchar, BP 417 Route Kenadsa, Béchar 08000, Algérie ,  
emyhydro@gmail.com

### **Résumé**

*Cette étude consiste en une approche d'aide à la protection et à la prévention de la pollution des eaux souterraines de la nappe du Turonien de la région de Bechar, ainsi qu'à la cartographie de zones vulnérables à la pollution. Elle était réalisée dans le but d'identifier les zones à haut risque de contamination, indépendamment du type et de la nature du polluant et de déterminer la méthode qui permet le mieux d'évaluer la vulnérabilité. L'application de la méthode DRASTIC et celle GOD a permis cette évaluation. Une étude comparative fondée sur les différentes classes de vulnérabilité ont été mises au point. Les différentes cartes de vulnérabilité ont révélés que la vulnérabilité par la méthode DRASTIC est représentée par la concentration de trois classes ; moyenne, forte et très forte, avec une domination de la classe « forte ». La méthode GOD a abouti elle aussi à une vulnérabilité concentrée entre les deux classes « faible », et « très forte » (avec un taux de où on remarque la domination de la classe « forte »). L'étude comparative a montré que les deux méthodes, donne des résultats concordants. Leur application sur ce terrain est justifiée. les classes des deux méthodes (DRASTIC et GOD) ont révélé que la cartographie présentent des indices identiques et que la méthode DRASTIC reflète le mieux la réalité de la pollution des eaux souterraines.*

**Mots clés :** nappe, Turonien, DRASTIC, GOD, vulnérabilité.

### **Assessment of the vulnerability of an aquifer in an arid zone: comparison of the methods applied for the Turonian aquifer (Bechar, South West, Algeria)**

### **Abstract**

*This study consists of an approach to support the protection and prevention of groundwater pollution of the Turonian aquifer in the Bechar region, as well as the mapping of areas vulnerable to pollution. It was conducted to identify areas of high risk of contamination, regardless of the type and nature of the pollutant, and to determine the best method of assessing vulnerability. The application of the DRASTIC method and the GOD method allowed this evaluation. A comparative study based on different classes of vulnerability has been developed. The various vulnerability maps revealed that DRASTIC vulnerability is represented by the concentration of three classes; medium, strong and very strong, with a dominance of the "strong" class. The GOD method also resulted in a concentrated vulnerability between the two classes "weak" and "very strong" (with a rate from which we notice the domination of the "strong" class). The comparative study showed that both methods, gives consistent results, their application on this ground is justified, the classes of the two methods (DRASTIC and GOD) have revealed that the mapping has identical indices and that the DRASTIC method best reflects the reality of groundwater pollution. .*

**Key Words:** slick, Turonian, DRASTIC, GOD, vulnerability.

**Introduction**

La présente étude porte sur la nappe turonienne du bassin crétacé de Béchar, située au sud-ouest de l'Algérie. La géologie de ce bassin montre que les formations carbonatées de bordure sont d'âge turonien abrite une nappe importante, connue dans le jargon local « nappe turonienne ». En effet, le Turonien constitue l'aquifère le plus important dans la région de Béchar. Elle couvre une superficie de 4000 km<sup>2</sup>. Par sa position privilégiée par rapport au centre-ville de Béchar et sa bonne qualité, cet aquifère offre une nappe de bonne qualité, qui a été très tôt exploitée pour l'A.E.P. et l'irrigation. Elle produit plus de 20% du volume total de l'A.E.P. de la ville [1]. A travers des différents programmes (PNDA, 2000; FNDA, 2001) auxquels s'ajoutent des projets vitaux pour la ville (station de Naftal, Usine de lait, Hôpital anticancéreux. etc...), cette nappe est exposée à des éventuelles pollutions.

Sous cette optique que nous menons ce travail est menée, afin d'analyser spatialement les zones fragiles (vulnérables) qui peuvent véhiculer des polluants vers la nappe. Nous allons essayer de mieux comprendre l'impact des paramètres climatiques et lithologiques sur la qualité de cette ressource souterraine et d'optimiser l'interprétation des analyses physiques en utilisant des moyens plus adéquats.

**Présentation générale de la zone d'étude**

La ville de Béchar se situe au pied du revers méridional de l'Atlas saharien, à une distance de 950 km au Sud-Ouest de la capitale Alger, (Fig.1) Elle est limitée Au Nord par les massifs septentrionaux (Djebel Antar 1960m) et Djebel Horriet (1461m)), et la Hamada d' Oum Sbaâ, au Sud par Chabket Mennouna, à l'Est par Djebel Bechar (1500m), et à l'Ouest par la région de Kenadsa. La ville de Béchar s'étend sur une superficie de 5050 km<sup>2</sup> traversée par l'Oued Bechar provenant les versants des Djebels Antar et Horreit et va s'ensabler après un parcours de 150 Km au niveau de Dhaiet Tiour, sans atteindre l'Oued Guir.

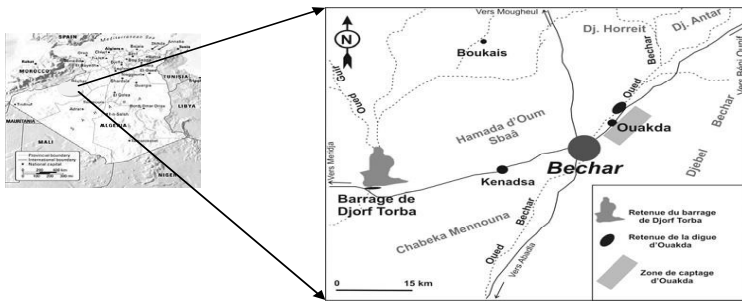
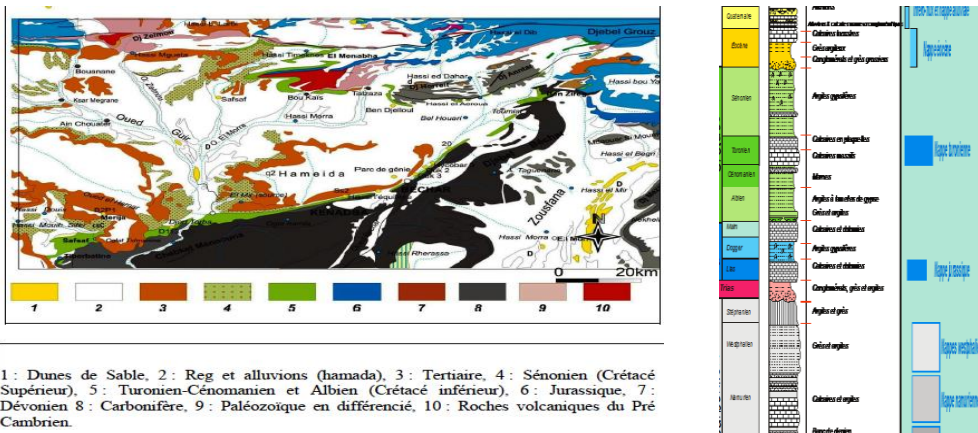


Figure 1: Situation géographique de la région de Béchar

Du point de vue géologique, la région de Béchar est constituée d'une large gamme de terrains allant du Précambrien à l'actuel (fig.2).



.Figure 2: Carte géologique, (Deleau, 1952).

### 3. Méthodes utilisées pour la caractérisation de la vulnérabilité à la pollution de la nappe turonienne

Deux méthodes ont été comparées, ce sont les méthodes:

- DRASTIC;
- GOD.
- vulnérabilité par la méthode DRASTIC s'effectue par le calcul de l'Indice DRASTIC (ID) selon l'équation (I).

$$ID = Dc \times Dp + Rc \times Rp + Ac \times Ap + Sc \times Sp + Tc \times Tp + Ic \times Ip + Cc \times Cp \dots\dots I$$

L'indice ainsi calculé représente une mesure du niveau de risque de contamination de l'unité hydrogéologique à laquelle il se rattache. Ce risque augmente avec la valeur de l'indice. L'équation permet d'effectuer la conversion des indices DRASTIC en pourcentage. On peut obtenir la carte de vulnérabilité (fig. 3).

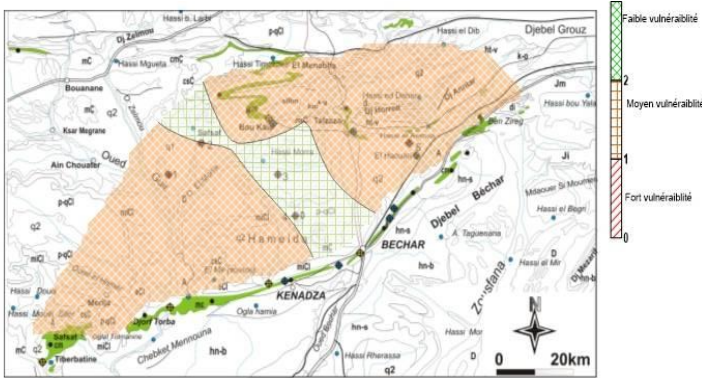


Figure 3 : Carte de vulnérabilité de la nappe turonienne selon la méthode Drastic

- vulnérabilité par la méthode GOD s'effectue par le calcul de l'Indice GOD (IG) selon l'équation (II).

$$IG = IG \times IO \times ID \dots II$$

L'indice ainsi calculé représente une mesure du niveau de risque de contamination de l'unité hydrogéologique à laquelle il se rattache. Ce risque augmente avec la valeur de l'indice. L'équation permet d'effectuer la conversion des indices GOD en pourcentage. On peut obtenir la carte de vulnérabilité (fig. 4).

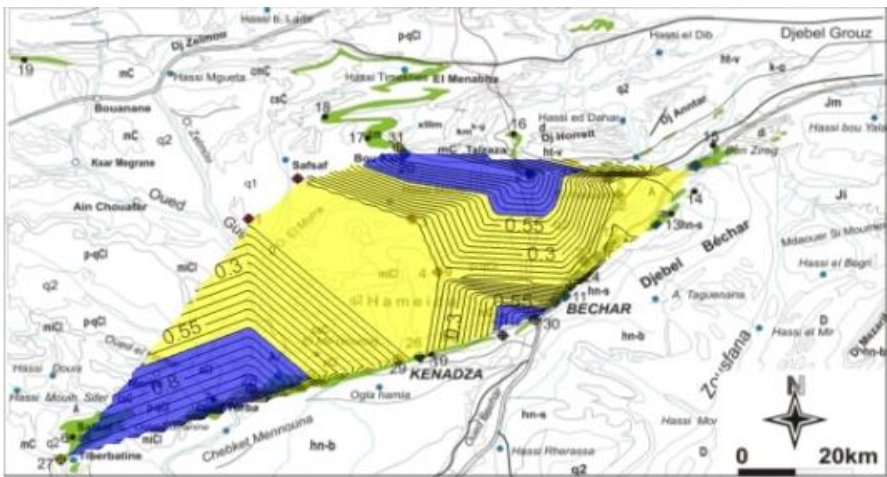


Figure 4 : Carte de vulnérabilité de la nappe turonienne selon la méthode GOD.



#### 4. Résultats et discussion

##### - Carte de vulnérabilité par la méthode DRASTIC

Les indices évalués par la méthode DRASTIC oscillent entre 90 et 135 et représentent ainsi les quatre classes qui constituent la présente carte. Ces dernières sont réparties comme suit :

- la classe « faible » traduit une vulnérabilité faible à la pollution et ne représente que 60 % de la zone cartographiée (figure 3). Le faible indice de vulnérabilité observé résulte des profondeurs qui sont relativement importantes à proximité des bordures ;
- la classe « moyenne » se rencontre à l'ouest et à l'est de la plaine, donne lieu à une pollution moins sévère et représente 40 % de la superficie de la plaine étudiée. Le degré de vulnérabilité moyen est engendré par la combinaison de profondeurs moins importantes que celles proches des bordures et une conductivité hydraulique modérée de l'ordre de  $4.10^{-4}$  m/s ;
- la classe « forte » s'étend du sud au nord, en occupant la proportion la plus importante (47,50 %) de la plaine. Le degré fort de vulnérabilité est expliqué par l'association des profondeurs de la surface piézométrique qui sont faibles, voire nulles, et la nature lithologique de la couche non saturée constituée de gravier, de sable et de cailloutis calcaires ;
- la classe « très forte » se rencontre sur l'axe de la plaine en coïncidence avec le tracé de l'oued de Béchar avec une superficie de l'ordre.

##### - Carte de vulnérabilité à la pollution selon la méthode GOD

Les indices de vulnérabilité évalués par la méthode GOD oscillent entre 0,05 et 1 et représentent deux classes qui varient de « faible » à « très forte ». La carte issue de cette classification est présentée à la (figure 4). Son analyse a révélé la répartition spatiale de ces classes, comme suit :

- la classe « faible » se localise à proximité de la bordure, en deux espaces limités, occupant % de la zone cartographiée (figure 4). Le faible indice de vulnérabilité observé est expliqué par une profondeur de surface piézométrique très importante ;
- la classe « moyenne » se rencontre au sud-ouest, au sud-est et à l'est de la plaine étudiée, et représente % de la zone d'étude. Elle engendre une pollution moins sévère en cas de contamination de la nappe. Le degré de vulnérabilité moyen est lié à la profondeur moyenne de la nappe et à la lithologie de l'aquifère constituée de sables avec passage argileux caractérisés par une conductivité hydraulique modérée ;
- la classe « forte » occupe une partie de la plaine qui s'étend du sud au nord, et représente la proportion la plus importante (40 %). Le degré fort de vulnérabilité est expliqué par la présence des faibles profondeurs de la surface piézométrique qui sont parfois nulles.

#### Conclusion

L'application des méthodes DRASTIC et GOD a permis d'estimer les indices de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution de la nappe de Turroninne. Cette vulnérabilité décroît du centre de la plaine vers les bordures. La répartition spatiale du taux des nitrates a validé cette décroissance. L'analyse des deux cartes de vulnérabilité résultant de l'application des deux méthodes (DRASTIC et GOD) a révélé que la vulnérabilité se focalise sur les classes « moyenne », « forte » et « très forte ».

La comparaison des cartes de vulnérabilité à partir du test de corrélation a montré qu'il existe une concordance entre ces deux méthodes : coefficient de corrélation de 0,88.

La méthode DRASTIC a révélé une sous-évaluation et une surévaluation d'indice par rapport à la méthode GOD, ce qui donne à penser que les deux cartes de vulnérabilité sont relativement proches mais que la carte de vulnérabilité réalisée à partir de la méthode DRASTIC reflète le mieux la réalité de la pollution des eaux souterraines de Turonienne.

#### Références

- [1] Kabour, 2011, évaluation et gestion des ressources hydriques dans une zone aride. Cas de la ville de bechar (sud ouest algérien), Larhys Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011, pp. 7-19
- [2] BADAOU Imane, Etude des eaux souterraines dans le bassin de Béchar : caractérisation géologique, hydrogéologique et vulnérabilité de la nappe Turonienne, mémoire master, université Béchar, 2013.
- [3] G. Castany, 1982 ; V. Merriam-Soukatcxhff, 2009 ; G. De Marsily, 2004
- [4] Paul Deleau 1956 carte provisoire de Colomb Béchar)
- [5] Aller, L et al en 1987. DRASTIC: A Standardized Method for Evaluation Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologie Settings. EPA-600/2-87-035,455 p.
- [6] Champagne, L. (1990). Vulnérabilité de l'eau souterraine à la pollution, MRC de Montcalm. Ecole polytechnique, 280p.

## Les Ressources Hydriques Dans Le Massif Des Aures Cas De La Vallée De Bouzina (Nappe De L'Eocene-Maestrichtien)

Rihani Ablal<sup>1</sup> et Menani Mohamed Redha<sup>1</sup>

*I* : Laboratoire de recherche MGRE, Institut STU, Université de Batna2, Algérie

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

[Menani\\_redha@univ-batna.dz](mailto:Menani_redha@univ-batna.dz)

### Résumé

*Les Monts des Aurès constituent la partie orientale de la chaîne atlasique. La série est à dominante marno-calcaire avec des formations tertiaires essentiellement détritiques. La vallée de Bouzina qui est une vallée typique de ce massif, est caractérisée par des dépôts argileux carbonatés du Sénonien et des dépôts détritiques (Oligo-Miocène essentiellement). La vallée de Bouzina appartient au sous bassin de Oued Abdi, elle est soumise à deux régimes climatiques : Climat subhumide à hivers froids dans la partie Nord Est, Le centre du bassin et sa partie Sud subissent un climat semi-aride à hivers frais. Les études géologiques et géophysiques ont fait ressortir l'existence de formations susceptibles de constituer des aquifères. Ce sont les carbonates du Maestrichtien, et les carbonates de l'Eocène inférieur particulièrement le Landénien et les grès et les conglomérats se rapportant à divers horizons de l'Oligocène et du Miocène continental. L'étude hydrogéologique montre que les formations carbonatées fissurées de l'Eocène-Maestrichtien sont le siège d'une nappe captive, artésienne par endroits et libre aux bordures, Cet aquifère repose sur les marnes du Campanien et du Coniacien.*

**Mots clés :** Aurès, synclinal Bouzina, eaux souterraine, sources, hydrochimie

### Water resources in the massif of Aures

#### Case of the valley of Bouzina (Eocene-Maestrichtien aquifer)

### Abstract

*The Aures Mountains form the eastern part of the Atlas range. The series is predominantly limestone-marl with tertiary formations mainly detrital. Bouzina the valley which is a valley typical of this massif is characterized by clay deposits Senonian carbonate and clastic deposits (Oligo-Miocene mainly). Valley Bouzina belongs to the sub Oued Abdi basin, it is subject to both weather patterns Climate subhumid to cold winters in the North East part of the center of the basin and the southern part undergo a semi-arid climate with cool winters. Geological and geophysical studies have highlighted the existence of training may constitute aquifers. These are the carbonates of the Maestrichtian, and carbonates of the Lower Eocene particularly Landenian and sandstones and conglomerates relating to different backgrounds of the Oligocene and Miocene continental. The hydrogeological study shows that the carbonate formations fractured Eocene-Maestrichtian are the site of a confined aquifer, artesian by en-rights and free curbs, This aquifer is based on the marl Campanian and Coniacien.*

**Key Words:** Aurès, syncline Bouzina, groundwater, sources, hydrochemistry



## Introduction

En zones arides et semi-arides, la recharge effective des nappes d'eau souterraine est sans aucun doute l'un des paramètres les plus difficiles à estimer: l'évapotranspiration s'effectue pendant et après la recharge saisonnière, de sorte que l'infiltration efficace, supposée acquise à l'écoulement souterraine profite plus entièrement à celui-ci: le paramètre évaporation tient une place non négligeable, voire prépondérante dans le bilan hydrologique des nappes d'eau souterraine. Le synclinal de Bouzina est essentiellement constitué de roches carbonatées. Les forts reliefs et la structure géologique sont favorables au développement de phénomènes karstiques. Ceux ci sont en effet très abondants et favorisent l'infiltration des eaux, leur écoulement souterrain et leur décharge par des sources à fort débit. Les précipitations, élevées sur Dj Mahmel et Dj Rharab, et partie sous forme de neige, assurent à ces sources un débit moyen annuel de 100 l/s environ.

Dans cette région, les ressources en eau souterraine sont contenues dans les formations carbonatées fissurées de l'Eocène-Maestrichtien, elles sont exploitées en domaine rural et assure l'alimentation en eau potable, et les besoins domestiques. Et d'une façon plus importante l'irrigation des terres agricoles. L'objectif de cette étude est d'évaluer les potentialités hydriques des aquifères existants susceptibles d'être exploités et d'apprécier leurs qualités chimiques.

## I. Localisation géographique et limites

La vallée de Bouzina est située à l'intérieur du massif des Aurès à environ 80 km au Sud de la ville de Batna, à 25 km au Nord d'Arris et à 60 km au Nord-Est de Biskra. L'aspect géo-morphologique de la vallée est celui des pays montagneux des Atlas Algériens. Il s'agit en général d'une forme V accentuée, étroite et profonde, aux versants raids et profondément ravinés, ceci apparaît comme le trait dominant du modelé du relief dans les Aurès (fig01).

La vallée est limitée au Nord Est par Dj Mahmel, le deuxième sommet de l'Aurès (2321m), au Sud Ouest elle rejoint la vallée de Oued Abdi par l'intermédiaire d'un étranglement topo-graphique constitué par les gorges de Menâa. Transversalement la vallée se développe sur une largeur d'environ 7 km entre les crêtes Kroumet kheloua\_ Kef El Mehnab\_ Kroumet Edib au SE et Dj El Rherab El Malou au NW.

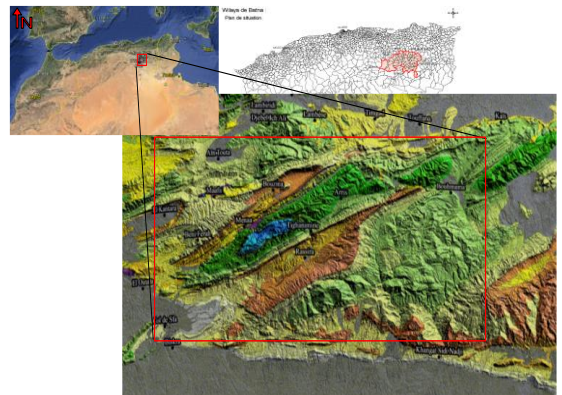


Figure 1 photo satellitaire du massif des Aurès\_Synclinal de Bouzina

## 2. Aspect climatologique

Cette étude a eu pour cadre le bassin versant de Bouzina qui appartient au sous bassin d'Oued Abdi (qui fait partie du bassin Chott Melghir), Ce bassin couvre une superficie de 195 km<sup>2</sup> et présente une altitude moyenne avoisinant 1450m. Il est soumis à deux régimes climatiques : Climat subhumide à hivers froids dans la partie Nord Est, le centre du bassin et sa partie Sud subissent un climat semi-aride à hivers frais.

A partir des données des pluies mensuelles des stations de S'gag, Bouzina et Menâa (répartie le long du bassinversant de bouzina) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) calculée par la méthode de Thornthwaite nous avons établi le bilan hydrique du bassin, les résultats obtenu montrent que les valeurs des précipitations moyennes annuelles pour les stations : S'gag, Bouzina et Menâa sont respectivement 452mm, 398mm et 246mm,

Avec des températures moyennes annuelles de 12.22°C, 14.17°C et 15.99°C. Les valeurs de l'évapotranspiration réelle moyenne pour les trois stations S'gag, Bouzina et Menâa sont respectivement de l'ordre de 298.33mm soit 66% des précipitations 280.46mm soit 95% des précipitations et de 236.96mm soit 97 % des précipitations moyennes annuelles (selon Thornthwaite).

Le déficit agricole est de l'ordre de 426.77mm pour la station de S'gag réparti du mois du Mai jusqu'à Octobre, pour la station de Bouzina il est de 528.79mm enregistré à partir du Mai jusqu'au Septembre, alors que pour la station de Menâa il est de 646.71mm réparti du mois du Mai jusqu'à Octobre. Le ruissellement estimé par la formule empirique de Tixeront-Berkaloff permet d'aboutir à des infiltrations de l'ordre 6.20 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/an à la station de S'gag, de 0.26 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /an à la station de Bouzina et de 0.205 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/an à la station de Menâa. Le volume infiltré comporte celui des sources lorsque le niveau de trop plain est atteint ainsi que les volumes prélevés par pompages.

### 3. Aspect géologique

Les Aures constitue le cœur du domaine atlasique, occupant une aire géographique s'étendant des Monts du Hodna à l'Ouest jusqu'aux Monts de Nememcha-Ain Beïda à l'Est. Sa structure est matérialisée par de vastes anticlinaux et synclinaux, réguliers et bien individualisés, d'axes N 50° à N60° E. Cette direction est engendrée par la phase atlasique [1], ayant abouti à l'émergence de ce massif. La direction Atlasique est affectée par plusieurs systèmes de failles qui s'organisent autour de trois directions : failles directionnelles NE-SW, failles transversales NW-SE, failles E-W. Leur terminaison vers le Nord est provoquée par la genèse du synclinal de Timgad où la sédimentation post-tortonienne atteint le Pliocène [2]. Le Trias dans ces plis est extrusif et générateur de haut fond recouverts de formations récifales.

Le Synclinal de Bouzina qui occupe la partie Nord-Ouest du massif des Aures est une structure très allongée, il débute depuis le bassin miocène d'El Outtaya jusqu'au bassin de Timgad qui est postérieur à sa formation et sous lequel il disparaît. Ce dernier englobe le synclinal de R'dam. Ce synclinal est subdivisé dans sa partie Sud-Ouest par un repli anticlinal (Djebel Bouss-Adrar) en deux. Le Djebel Mahmel forme le flanc septentrional du synclinal de Bouzina et le repli synclinal au Sud qui se trouve à 400 m d'altitude. Les divers accidents qui affectent le synclinal sont liés à la phase de plissement majeure de l'Eocène [1].

Le synclinal de Bouzina est caractérisé par des flancs carbonatés du Maestrichtien à Bryozoa et par du Paléogène calcaireux et calcaires marneux avec des intercalations de bancs gypseux, suivis par un Lutétien à Thersites. Le cœur du Synclinal est caractérisé essentiellement par le Lutétien et l'Oligocène, surmonté par endroits en discordance par du Miocène continental. La présence de poudingues dans la partie supérieure du Lutétien indique le début des plissements qui affectèrent cette région [1].

### 4. Aspect hydrogéologique

#### 4.1. Caractéristiques principales des aquifères

Le synclinal de Bouzina est une identité hydrogéologique indépendante, formée par une superposition de couches perméables qui repose sur un complexe marneux imperméables du Campanien et du Coniacien. Les différentes nappes ont pu être identifiées peuvent être caractérisées comme suit :

**LA NAPPE DE LUTETIEN (EOCENE MOYENNE) :** Elle se localise dans les niveaux calcaire-marneux. Dans le plateau de Nardi, l'épaisseur de la formation du Lutétien est de 200m au centre, et va en diminuant jusqu'à disparition totale à la périphérie. Elle est très développée au Sud-Ouest de la ville de Bouzina vers Tagoust où l'aquifère présente au centre de la vallée une épaisseur entre 200-300 m. L'aquifère est caractérisé par une eau très chargée.

**LA NAPPE DU LANDENIEN (PALÉOCÈNE) :** Elle se localise dans les formations carbonatées. Cette nappe est localisée dans l'ensemble de la vallée de Bouzina et se présente sous la forme d'une nappe artésienne au centre et captive sur les flancs de la structure synclinale.

**LA NAPPE DU MAESTRICHTIEN :** La nappe de Maestrichtien est considérée la plus importante par son extension au niveau du synclinal de Bouzina, elle est constituée par une puissante couche de calcaire très fissurés et parfois karstique d'épaisseur d'ordre de 360 m, cette nappe a donné naissance à la source de Tasserift sur le flanc sud-est du synclinal de Bouzina.

#### 4.2. Interprétation de la piézométrie

Pour avoir une idée sur l'écoulement souterrain et sa relation avec son environnement nous avons redressé 03 cartes piézométriques pour la campagne de 2006 : piézométrie des sources seules, piézométrie des forages seules et enfin des sources et forages ensemble : La majorité des points d'eaux sont implantées au fond de vallée, L'examen des lignes de courants montre que l'écoulement se dirige généralement du Nord-Est vers le Sud-Ouest. La piézométrie des sources se concorde avec celle des forages au niveau de la plaine de Nardi, où elle montre cependant certains axes qui se dirigent vers le centre de la plaine, mais le sens général de l'écoulement est toujours orienté NE-SW. Et pour les forages dans la partie centrale de la vallée, les courbes de niveau deviennent plus resserrées (près de Vieux Bouzina).

De manière générale les grands traits se ressemblent : même sens d'écoulement, sensiblement les mêmes charges, à part quelques points particulières ; ce qui est normal pour un système karstique sans exclure également des erreurs de mesure de niveau piézométrique, d'altitude tête ouvrage. On a pu évaluer à partir des essais de pompage effectués au niveau des forages de Nardi qui capte l'aquifère du lutétien et Tidjad qui capte l'aquifère carbonaté du Eocène-Maestrichtien les valeurs de la transmissivité qui sont respectivement  $6.14 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  ,  $9.16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  qui indiquent l'excellence de ces réservoirs.

## 5. Aspect hydrochimique

Les caractéristiques chimiques des eaux souterraines sont influencées par la vitesse de circulation dans l'aquifère suivant laquelle le contact eau-roche peut être court ou long, diminuant ou augmentant l'importance des échanges ioniques entre les eaux et le terrain qui les contient. Une étude hydro-chimique basée sur la mesure des paramètres physico-chimiques, à partir des analyses chimiques des eaux prélevées au niveau des forages et des sources qui captent la nappe d'Eocène-Maestrichtien dans la région d'étude. Ces analyses ont été réalisées en 2006 au laboratoire de chimie de l'I.S.T (institut des sciences de la terre) de l'université de Constantine.

La projection des points d'eaux sur le diagramme de PIPER montre une tendance des ca-tions vers le pôle Calcique, et une tendance des anions vers le pôle Bicarbonaté sauf les sources d'El Ouast et Iggueribene

Les analyses des eaux de sources représentent en général sur le diagramme de PIPER deux types de faciès :

- chloruré et sulfatée calcique et magnésien
- bicarbonatés calcique et magnésien.

Pour les forages la plus part présentent des eaux chlorurée et sulfatée calcique et magnésiennes. Pour les forages de Tagoust et Tidjidad les eaux sont bicarbonatées calciques et magnésiennes.

L'interprétation des données des i.e.b calculés montre que la majorité des eaux souterraines de bassin de Bouzina ont un i.e.b négatif variant de -0.72 à -1.102 donc les eaux échangent les ions (Ca, Mg) contre les ions Na du terrain. Seule les forages de Tidjidad, Tagoust et la source d'Iggueribene présentent un i.e.b positif, ou les ions Na de l'eau sont échangés contre les ions Ca et Mg du terrain.

## Conclusion

L'étude hydrogéologique montre que les formations carbonatées fissurées de l'Eocène-Maestrichtien sont le siège d'une nappe captive, artésienne par endroits et libre aux bordures. Cet aquifère repose sur un complexe marneux imperméable du Campanien et du Coniacien. Son alimentation est assurée par les infiltrations directes lors des précipitations et surtout celles sous forme de neige dans la partie amont du bassin (Dj. Mahmel). Cet aquifère présente deux exutoires naturels importants qui sont les sources de Tabgha (vieux Bouzina) et Tasserift. La surface piézométrique suit de manière générale la morphologie topographique, avec des fluctuations saisonnières.

Le calcul du bilan hydrique fait ressortir que le volume écoulé des sources et celui des prélèvements équivalent pratiquement au volume infiltré moyen annuel; c'est à dire que seules les réserves renouvelables sont exploitées.

Les eaux de bassin de Bouzina présentent une potabilité admissible selon l'OMS sauf quelques points qui présentent des anomalies (Forage Ali Ouyaha, sources d'Iggueribene et Tabgha), dues au lessivage des terrains gypseux traversées par ces eaux.

## Références

- [1] LAFFITE R. (1939) : Etude géologique de l'Aurès (Algérie). Propositions données par la Facul sciences d'Alger. 484p.
- [2] GUIRAUD R. (1973) : Evolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne Alpine En Algérie : d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse 3ecycle, Université de Nice.
- [3] BALLAIS J.L (1981): Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie). A.N.R.T., Lille III, 2vol. 626p.
- [4] GUIRAUD R. (1990) : Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Geological Survey of Algeria, Memoir 3.
- [5] KAZI-TANI. N (1986) : Evolution géodynamique de la bordure Nord-Africaine : le domaine intraplaque nord algérien. Approche mégasquentielle. Thèse doct d'Etat. Univ. Pau. 886p.
- [6] RIHANI, A. MENANI, M. LES RESSOURCES HYDRIQUES DANS LE MASSIF DES AURES – CAS DE LA VALLEE DE BOUZINAD (NAPPE DE L'EOCENE\_ MAESTRICHTIEN): Proceedings of the 41 st IAH international congress « groundwater : challenges and strategies » held at Marrakch, Marocco from 15-19 septembre 2014.
- [7] RIHANI Abla - MENANI Mohamed Redha. RESSOURCES HYDRIQUES DANS LE MASSIF DES AURES – CAS DE LA VALLEE DE BOUZINA: Proceedings of the 1 er Colloque international sur la géologie du Sahara algérien : ressources minérales, en hydrocarbures et en eau. Ouargla Décembre 2010.

## **Impact environnemental des rejets industriels issus de la société Alzinc alentours des sols agricole (algerie)**

Tahar Kebir I, Abderrazak Baba ahmed2

1 Département de chimie, Faculté des sciences, Université de Dr Moulay Tahar de Saida, Saida 20000, Algérie, Tel : 00213668709757 et e-mail : [kebir\\_tahar@yahoo.fr](mailto:kebir_tahar@yahoo.fr)

2 Laboratoire de Chimie Inorganique et de l'Environnement (LCIE), Département de chimie, Faculté des sciences, Université de Tlemcen 13000, Algérie. Tel : 00213541215334 et e-mail : [abderrazak\\_baba@yahoo.fr](mailto:abderrazak_baba@yahoo.fr)

### **Résumé**

*La production des déchets solides urbains représente, en Algérie, un problème environnemental important, car la plus grande part des ordures générées est évacuée vers des décharges non contrôlées sans aucune mesure sanitaire. Ces décharges sont éparpillées à travers tout le pays ainsi qu'au voisinage des centres urbains créant, de ce fait, des risques potentiels pour la santé de la population. Dans le présent travail nous nous sommes intéressés aux terrains agricoles près des rejets d'un site industriel, les résultats de cette étude ont montré que sur les six éléments analysés seuls le Cd, l'As et le Zn présentent des concentrations élevées dans ces parcelles dépassant les teneurs maximales admises [2, 40, 300] ppm. Par contre, les teneurs moyennes en Pb, en Ni et en Mn sont inférieures aux recommandées [100-400] ; [1-100] et [200] ppm respectivement. Sur l'ensemble des terrains échantillonnés, la pollution métallique est décroissante dans le profil du sol.*

**Mots clés :** rejets industriels, métaux lourds, pollution, contamination.

## **Environmental impact of industrial waste from Alzinc society around agricultural soils (Algeria)**

### **Abstract**

*Production of municipal solid waste is in Algeria, a major environmental problem because the largest share of waste generated is discharged to uncontrolled landfills without any sanitary measure. These dumps are scattered throughout the country and in the vicinity of urban centers creating, thus, the potential risks to the health of the population. In the present study we are interested with agricultural land near of solid waste. The results of this study showed that the six elements analyzed only Cd, As and Zn present in high concentrations in these plots exceeding the maximum permitted levels [2, 40, 300] ppm. As against, the mean levels of Pb, Ni and Mn is below the recommended [100-400], [1-100] and [200] ppm respectively. On all sampled sites, the metal pollution is decreasing in the soil profile.*

**Key words :** industrial waste, heavy metals, pollution, contamination.

## Introduction

Par tous dans le monde la pollution et la contamination sont des phénomènes qui ont fait l'objet de plusieurs recherches et des études, compte tenu aux risques qu'elles présentent à l'environnement et à la santé. Il est temps en Algérie d'évaluer ces risques liés à la contamination, en particulier nos rejets et nos déchets industriels (ou domestiques) et leurs impact sur l'air que nous respirons, l'eau que nous buvons et le sol d'où nous tirons nos aliments. Malheureusement dans notre pays la majorité des déchets industriels ne sont pas contrôlés et ne s'obéissent pas aux normes internationales et par la suite peuvent poser de graves problèmes alentours de ses terres précisément celles d'aspect agricole surtout par des métaux lourds tels que le zinc (Zn), le chrome (Cr), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et le plomb (Pb). Plusieurs études à caractère national ou international conduites par les organismes d'Etat, les universités, les instituts, les bureaux d'études et les institutions internationales ont été menées en Algérie pour diagnostiquer cette pollution, sans que des actions pratiques soient prises sur le terrain pour l'enrayer ou la réduire. L'objectif qu'on vise, ici, que deviennent ces métaux provenant de déchets de l'unité de production de zinc nommée ALZINC dans la ville de Ghazaouet sur les terrains agricoles juxtaposés. Il était nécessaire d'évaluer la teneur totale des métaux lourds dans les sols agricoles afin d'appréhender si la contamination métallique a lieu et son ampleur.

## 1. Procédés expérimentaux

Sur chaque région, le sol est prélevé en zigzag ( six points en moyenne) à l'aide d'une tarière hélicoïdale en à surface (horizons labourés) 0-20 cm des terrain agricole, les sols de même région sont mélangés et mis dans des sachets en plastique et transportés au laboratoire. Ils sont séchés à 40°C pendant trois jours [1], réduisaient au mortier en porcelaine en poudre fine façon à favoriser une mise totale en solution des éléments à analyser (but : augmentation de la surface spécifique du matériaux). En suite une tamisage à 2 mm pour éliminer les gros fragments solides qui ne sont pas considérés comme faisant partie du sol [2], a la fin de ces opérations un quartage est nécessaire a fin d'homogénéiser et d'obtenir un échantillon représentatif dans lequel la concentration en pollution est aussi proche que celle présente dans le sol ou le végétal d'origine, en fin sont ensachés pour analyse ultérieur.

La collecte a également rassemblé les analyses de caractérisation agro-pédologique courantes réalisées sur les mêmes échantillons : granulométrie 5 fractions ; pH eau ; Capacité d'échange cationique (CEC). En ce qui concerne, les plantes végétales (artichaut, poivron et raisin) ont été récoltées dans les mêmes conditions que les sols correspondants (Fig. 1)

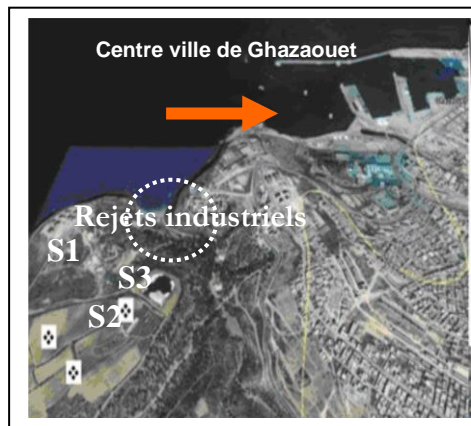


Figure 1. Localisations des terrains échantillonnés

## 2. Résultats et discussions

### 2.1. Caractéristiques des sols

Sur le tableau 1, sont figurées les caractéristiques des sols échantillonnés. Le pH est considéré comme le principal paramètre chimique contrôlant la biodisponibilité des métaux lourds dans le sol [3].

La moyenne du pH indique qu'il diminue en rapprochant des rejets, ceci par la suite va augmenter le passage des métaux lourds de la phase solide à la solution du sol puis vers les plantes [4].

La nature alcaline reflète au même titre que les argiles et les limons, la nature calcaire de la roche mère. La texture de nos sols étudiés est une nature de sol sableux précisément sable fin [5,2].

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des sols échantillonnés; a, valeur moyenne; b, écart-type (n=3).

Terrain N°	Latitude (N)	Longitude (W)	Couche cm	pH eau	Limons %	Sable grossier %	Sable fin %
Terrains échantillonnés							
S1	35°05'21"	01°52'21"	0-20	8.47 <sup>a</sup> ± 0.26 <sup>b</sup>	2,23	4,65	91,82
S2	35°05'25"	01°52'24"	0-20	8.66 ± 0.27	2,24	6,84	90,32
S3	35°05'39"	01°52'30"	0-20	7.29 ± 0.23	3,15	20,54	69,65

## 2.2. Teneur des métaux dans les sols

L'analyse des métaux a été réalisée au moyen de spectroscopie d'absorption atomique (SAA), le résultat de chaque métal par la suite a été comparé à la valeur normale existante dans les sols non affectés par une contamination ou pollution. Tous les résultats ont été exprimé en mg.kg<sup>-1</sup> en matière sèche (ou ppm) et rapportés dans le tableau 2.

Tableau 2. Teneurs totales moyennes (mg.kg<sup>-1</sup>) en métaux lourds dans les sols agricoles étudiés.

Élément	S1	S2	S3	λ (nm)
Pb	7,95 <sup>a</sup> ± 2,39 <sup>b</sup>	15,45 ± 4,65	56,02 ± 6,86	220,353
Zn	119,17 ± 8,65	171,70 ± 4,28	539,01 ± 12,60	213,857
Mn	74,77 ± 5,21	170,45 ± 11,89	677,25 ± 7,25	257,610
Ni	5,12 ± 1,01	10,82 ± 2,122	34,70 ± 6,80	216,555
Cd	1,97 ± 0,595	5,27 ± 1,59	24,15 ± 3,29	214,439

D'après le tableau 2, tous les échantillons des sols prélevés près les rejets industriels (S3, figure 1) avaient des niveaux inférieurs en Pb que le niveau normal recommandé qui vaut 400 mg.kg<sup>-1</sup> [6]. Les niveaux en Zn dans le sol S1 et le sol S2 s'échelonnent dans la gamme des sols non contaminés 20-300 mg.kg<sup>-1</sup>, tandis que le sol S3 ait des concentrations supérieures à celles données dans la littérature [7,10].

Les teneurs moyennes en Ni trouvées dans les échantillons des sols S1, S2 et S3 ne s'excèdent pas les valeurs maximales fixées de 1 au 100 mg.kg<sup>-1</sup> pour les sols non affectés [4]. Les concentrations moyennes en Cd et Mn étaient plus élevées dans la contamination des sols (1-3 mg.kg<sup>-1</sup> [6,8], 60 mg.kg<sup>-1</sup> [7] respectivement.

Le Pb, le Mn et le Cd sont considérés comme polluants issus des rejets industriels par leurs augmentent significativement en rapprochant des rejets industriels, ces concentrations élevées pourraient avoir des effets négatifs sur les activités microbiennes [9] provoquant une faible minéralisation de la matière organique au cours de la croissance de ces plantes ?

## 2.2. Les légumes

Pour estimer cet effet, trois plantes végétales (Fig.2) ont été mises au test vis-à-vis au contenu de quelques métaux (Tab.3), en raisin leurs intensives consommation par les habitants de Ghzaouet contrairement aux autres végétations.

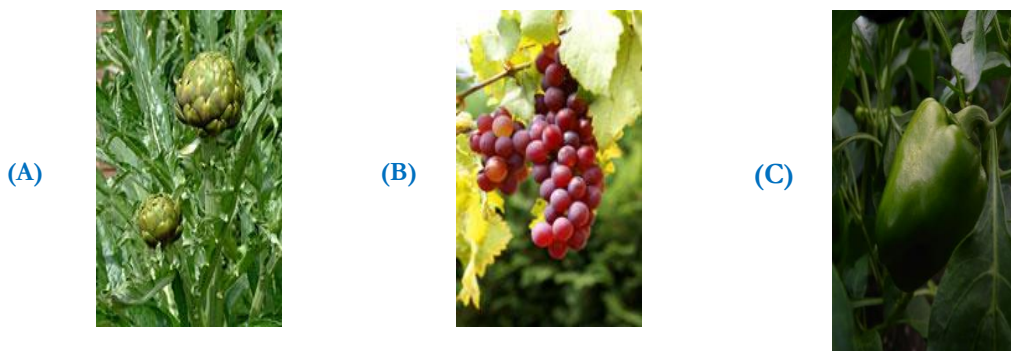


Figure 2.Plantes alimentaires étudiées; A: artichaut, B : raisin et C: poivron



La lecture du tableau 3, révèle que le Pb dans l'artichaut et le poivron s'échelonne dans l'intervalle de toxicité des plante qui est d'ordre 12 au 100 mg.kg<sup>-1</sup>, tandis que dans le raisin il se trouve au-dessus cette gamme de toxicité [8]. Le Ni et Mn présentent dans les trois plantes avec des concentrations moyennes inférieures à celles indiquées dans la littérature par (10-100) et (300-500) mg.kg<sup>-1</sup> [7,11].

La concentration moyenne en Zn, à différence de Pb, Ni et Mn est très élevée à la teneur critique de toxicité qui vaut (100-400) mg.kg<sup>-1</sup>. Pour les plantes en générale, ce métal est utilisé en galvanisation (50 %), pièces moulées (15 %) et laiton et autres métaux d'alliages (20 %). Toutefois le Cd dans l'artichaut et le poivron ne présente aucun danger, contrairement au raisin ou sa teneur dépasse largement la valeur critique indiquée (0.01-5) mg.kg<sup>-1</sup> [9-11].

**Tableau 3. Teneurs totales moyennes (mg.kg<sup>-1</sup>) en métaux lourds dans les légumes cultivés choisies (sol agricole correspondant).**

Élément	Poivron (S1)	Artichaut (S2)	Raisin (S3)
Pb	12,42 ± 2,36	38,20 ± 3,43	144,11 ± 11,04
Zn	585,05 ± 20,16	379,87 ± 15,67	678,69 ± 26,34
Mn	53,85 ± 8,73	76,73 ± 7,21	91,99 ± 7,45
Ni	0,38 ± 0,04	9,80 ± 1,56	4,04 ± 1,02
Cd	2,41 ± 0,16	4,37 ± 0,95	11,03 ± 2,19

## Conclusion

Cette étude a particulièrement révélé que les sols agricoles près des rejets industriels ainsi que ses plantes alimentaires cultivées ont des teneurs en Pb, en Cd et en Zn dépassant les seuils critiques de toxicités cités par plusieurs travaux. En effet, ces métaux sont issus des décharges industrielles de l'unité de production ALZINC en se référant aux sols non affectés. Ces résultats trouvés confirment que l'ALZINC présente un risque potentiel pour la contamination des sols, les plantes et par la suite engendre un problème sanitaire pour homme. Donc la mise en vigueur d'un contrôle et d'un règlement pour dépolluer ces sols affectés ou neutraliser ces rejets avant les rejets est nécessaire.

## Références

- [1] AFNOR, Qualité des sols, Recueil de Normes Françaises. 3<sup>ème</sup> Edition, ISBN : 2-12-21313-4 ,Paris, 1996.
- [2] A. Kabata-Pendias, K. Pendias. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Boca Raton, USA, 2001.
- [3] S. Brallier , R.B. Harrison, C.L.Henry, X. Dongsen , Liming effects on availability of Cd, Cu, Ni and Zn in a soil amended with sewage sludge 16 years previously, *Water, Air and Soil Pollution*, 86 (1996) 195-206.
- [4] M. Mench, D. Baize, B. Mocquot, Cadmium availability to wheat in five soil series from the Yonne district, Burgundy, France, *Environmental Pollution*, 95 (1997) 93-103.
- [5] R. Calvet, Le sol propriétés et fonctions. Tome I : Constitution et structure, phénomènes aux interfaces, Ed.; Dunod: Paris, 2003, pp. 87.
- [6] F. Douay, T. Sterckeman, Teneurs en Pb, Cd et Zn dans les végétaux cultivés aux alentours d'usines métallurgiques. In D. Baize et M. Tercé : Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales, Ed.; INRA: Paris, 1996, pp. 505-521.
- [7] J.M. Gravouille, Enquête sur les teneurs en éléments traces métalliques de la pomme de terre. Convention ITCF-ADEME, ITCF, Boigneville, 1999, n° 9775050.
- [8] T. Kebir, K. Bouhadjera Keltoum, Effects of Heavy Metals Pollution in Soil and Plant in the Industrial Area, West ALGERIA . *Journal of the Korean Chemical Society*, 55 (2011) 1018-1023.
- [9] A. Loué, Oligo-éléments en agriculture. SCPA. Nathan, Paris, 1993, pp.577.
- [10] S. K. Naik, D. K. Das, Evaluation of Various Zinc Extractants in Lowland Rice Soil under the Influence of Zinc Sulfate and Chelated Zinc, *J. Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41 (2010) 122-134.
- [11] E. Meers, G. Du Laing, V.G. Unamuno, E. Lesage, F.M.G. Tack, and M.G. Verloo, Water extractability of trace metals from soils: Some Pitfalls, *J. Water,Air. Soil. Pollution*, 176 (2006) 21-35.



## LA NAPPE DE LA PLAINE DE KAIROUAN SOUMISES AUX CHANGEMENTS GLOBAUX : QUELS EFFETS SUR LA RESSOURCE ?

Hamza Jerbi <sup>1,2</sup>, Sylvain Massuel <sup>2</sup>, Jamila Tarhouni<sup>1</sup>, Fethi Lachaal <sup>3</sup>, Jeanne Riaux <sup>2</sup>, Julien Burte <sup>4</sup>, Christian Leduc <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Carthage, hamza.jerbi@ird.fr, elmainat@yahoo.com

<sup>2</sup>IRD, UMR G-Eau, sylvain.massuel@ird.fr, chretien.leduc@ird.fr

<sup>3</sup>CERTE, lachaalfethi@yahoo.fr

<sup>4</sup>CIRAD, UMR G-Eau, julien.burte@ird.fr

### Résumé

*A l'heure où les gestionnaires s'inquiètent de la pérennité des réserves en eau de la nappe de la plaine de Kairouan, le devenir de cette vaste ressource semble pourtant plus interroger les capacités d'accès à l'eau des irrigants que la réserve elle-même. C'est ce qu'inspire la modélisation lithologique réalisée en parallèle de l'analyse des chroniques piézométriques avec la disparition de 10% de la réserve en 40 ans d'exploitation, mais avec un approfondissement des niveaux piézométriques pouvant atteindre 30 m.*

**Mots-Clés :** Modélisation lithologique, Piézométrie, Plaine de Kairouan, Réserve en eau souterraine

### The Kairouan plain aquifer under global changes: what effect on groundwater resource?

### Abstract

*With the water table drop, managers got extremely concerned about the groundwater storage sustainability of the Kairouan plain aquifer. The future of groundwater resource seems though to be more a matter of access for irrigators than a matter of quantity. That's what is suggested by the work presented here. The lithological modeling carried out along with groundwater level time series analysis show that only 10% of the groundwater storage disappeared within the last 40 years of exploitation whilst water levels dropped up to 30m.*

**Key Words:** Lithological modeling, Piezometry, Kairouan plain, Groundwater storage

## Introduction

La réflexion sur l'aspect quantitatif des ressources en eau souterraine occupe une place assez importante dans les préoccupations scientifiques. L'accroissement très rapide des besoins d'eau entraînés par les diverses activités humaines concoure à orienter les réflexions sur les aspects quantitatifs de ces ressources.

La plaine de Kairouan en Tunisie centrale symbolise un cas idéal pour étudier cette problématique. Elle représente le plus vaste réservoir aquifère de la Tunisie centrale [1]. Le développement économique de la région repose essentiellement sur la forte croissance de l'agriculture irriguée par les eaux souterraines. Le devenir de ce développement étant fortement lié à la ressource, les gestionnaires s'interrogent face à la baisse des niveaux piézométriques des 40 dernières années [2]. L'approche menée ici consiste à rapporter la tendance à long terme de la baisse observée de la piézométrie à la réserve totale actuelle du système aquifère.

L'estimation de la réserve en eau souterraine de la nappe de Kairouan a été initiée par Besbes en 1975. A l'époque la rareté des données et la limitation des capacités informatiques lui ont imposé une estimation simplifiée qu'il est possible aujourd'hui de préciser.

## I. Méthodologie

### I.1. Données

Notre étude concerne la partie nord du système aquifère plioquaternaire de la plaine de Kairouan que l'on distingue ici par le nom de bassin aval du Merguellil. Les données utilisées sont essentiellement des coupes lithologiques des forages (pétroliers et hydrauliques), des profils sismiques ainsi que les enregistrements diagraphiques. Une campagne de sondages électriques réalisée en 2012 complète les données existantes. Les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère ont été attribués en fonction des valeurs de la littérature et par l'analyse des essais de pompage disponibles.

### I.2. Traitement des données

Des logiciels de numérisation, de conception et d'analyse ont été utilisés pour cette étude ; Neuralog et NeuraSection 2010 pour le traitement des données diagraphiques, Logplot 2012 pour les données lithologiques et IPI2WIN 2008 pour la modélisation inverse des sondages électriques.

Il est à noter que la description lithologique est très sensible au pas d'échantillonnage de cuttings, au paramètre de forage (densité de boue, vitesse d'avancement, efficacité de l'appareil de forage...) ainsi qu'à la compétence du foreur ou géologue et donc une description lithologique reste relative et ne peut jamais explorer l'état réel de sous-sol. L'examen de ces coupes avec celles de diagraphie était primordial pour dégager des éventuelles anomalies. Ainsi les données de la lithologie et de la diagraphie ont été combinées afin de produire quatre unités lithologiques cohérentes : le sable, l'argile, le sable argileux et l'argile sableuse. Le remplissage plio-quaternaire de la plaine de Kairouan repose sur une puissante couche d'argile miocène qui est assimilée au substratum. Elle représente un réflecteur facilement identifiable sur les profils sismiques.

La validation de l'altitude de ce réflecteur est effectuée par les données des puits profonds. Dans la partie nord-est, au niveau de la sebkha Kelbia, onze sondages électriques ont été effectués (SYSCAL R1) pour identifier le substratum. Toutes les données ont été compilées dans Rockworks 2011 et interpolées par Lithoblending. L'hypothèse de quasi horizontalité a été adoptée en absence d'information sur la direction des couches, ce qui semble très probable pour des dépôts alluviaux non remaniés. La surface topographique représente le toit de l'aquifère, et est issue du MNT SRTM en libre accès. Ainsi, la lithologie de l'aquifère a été modélisée en 3D.

Depuis 1967 un réseau de surveillance piézométrique a été établi pour suivre l'évolution de l'aquifère de la plaine de Kairouan. Ce réseau fournit actuellement une chronique de 40 ans de chroniques. Afin de suivre l'effet de la variation piézométrique sur la réserve de la nappe de Kairouan le niveau de juin 2013 a été retenu comme le niveau de référence actuel et le niveau de 1967 comme état initial stable.

### I.3. Estimation de la réserve

La réserve en eau souterraine est définie comme étant le volume d'eau stocké dans l'horizon aquifère compris entre le substratum imperméable et la surface piézométrique minimale. Depuis plusieurs années des nombreux chercheurs ont estimé la réserve en ne prenant pas en compte la variation spatiale des caractéristiques hydrodynamiques et notamment la puissance des couches [3, 4, 5]. Les outils d'analyse spatiale offerts par GMS (2008) permettant d'estimer la quantité d'eau emmagasinée dans un système maillé sur la base des paramètres hydrodynamiques (tableau I). Le modèle lithologique proposé a été découpé en 30 couches parallèles d'épaisseur constante, à l'exception de la couche supérieure en raison des caractéristiques topographiques. L'aquifère est divisé en 48 000 cellules (grille de 1 km).

Tableau I. Caractéristiques hydrodynamiques des unités lithologiques.

Unité lithologique		Sable	Argile	Sable argileux	Argile sableuse
Conductivité hydraulique (m/s)	Littérature*	$10^{-2}$ à $10^{-6}$	$10^{-9}$ à $10^{-12}$	$10^{-5}$ à $10^{-7}$	$10^{-7}$ à $10^{-9}$
	Essai de pompage	$10^{-4}$ à $7 \cdot 10^{-4}$	--	$4 \cdot 10^{-5}$ à $9 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$
	Valeur ajustée	$10^{-4}$	$10^{-10}$	$10^{-5}$	$10^{-7}$
Porosité (%)	Littérature*	22	2	6	6
	Essai de pompage	12	--	3	1.4
	Valeur ajustée	16	1	3	2
Coefficient d'emmagasinement (m-l)	Littérature*	$0.45 \cdot 10^{-4}$ à $10^{-4}$	$1.17 \cdot 10^{-4}$ à $2.34 \cdot 10^{-4}$	--	--
	Essai de pompage	--	--	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$
	Valeur ajustée	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$1.7 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$

\*[6]

Pour estimer la quantité d'eau stockée dans l'aquifère est alors évaluée selon le caractère confiné ou non de la colonne d'eau discrétisée (masque binaire : 1 : confiné et 0 : libre). En effet dans une nappe libre la quantité d'eau stockée est assimilée à la porosité gravitaire. Alors que pour une nappe captive la libération élastique de l'eau est en relation directe avec le coefficient d'emmagasinement S qui est toujours très inférieur à la porosité efficace de l'aquifère. Ainsi la réserve stockée dans chaque cellule du modèle est le produit de son volume et de sa porosité ou son coefficient d'emmagasinement selon sa position dans la partie captive ou libre. Le niveau piézométrique de l'année 2013 a été retenu comme état de référence.

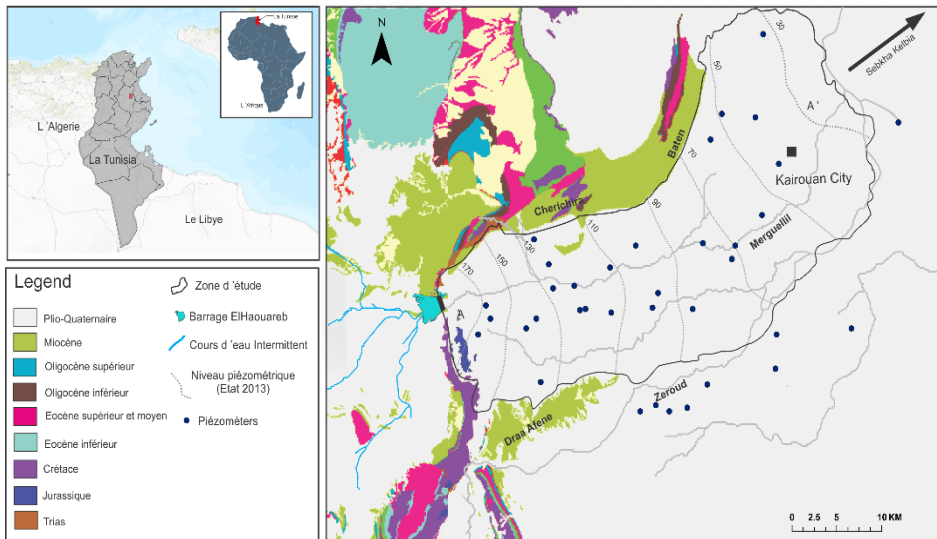


Figure 1. Carte piézométrique de l'année 2013

## II. Résultats et conclusion :

L'aquifère de la plaine de Kairouan est dominé par un grand système aquifère libre à semi-captif sauf dans la partie extrême est où les couches de marne confinent l'aquifère en 2 à 3 niveaux connectés latéralement. L'utilisation des coupes de sondeur et digraphies des puits nous a permis de préciser la géométrie de l'aquifère avec l'extension spatiale des différentes parties libres et captive. Deux sondages électriques et deux forages profonds révèlent une couche conductrice cohérente en profondeur avec les informations sismiques permet de valider la loi de vitesse utilisée (oscillant entre 1700 à 2500 m/s dans les terrains post-Miocène) et confirme ainsi la fiabilité de résultats.

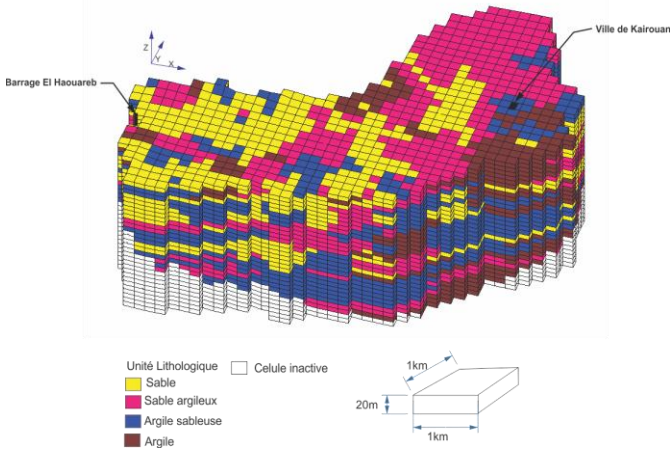


Figure 2. Illustration 3D du modèle lithologique

La réserve d'eau souterraine estimée pour l'état de référence de juin 2013 serait proche de 15.109 m3. On juge une incertitude de 40% qui pèse sur la méthode de spatialisation et sur la fiabilité des données elles-mêmes. Une telle réserve pourrait soutenir un taux de prélèvement de 150 à 200 Mm3/an pendant 75 à 100 ans (hors de toute autre contrainte). L'analyse de la chronique piézométrique sur 40 ans révèle une baisse moyenne du niveau de la nappe de l'ordre de 30 m. Cette baisse correspond à une diminution de 10% de la réserve totale. Il semblerait donc qu'à court terme, cette évolution pèse plus sur les capacités d'accès que sur la réserve elle-même. Qui sera en mesure d'exploiter les eaux de plus en plus profondes ? Les contraintes économiques et techniques sont en passe de générer une sélection parmi les exploitations agricoles, favorisant celles qui sont le plus à même de mobiliser les eaux souterraines et donc d'épuiser la ressource à moyen ou long terme.

Ce travail présente une avancée dans l'estimation de la réserve en eau de la partie nord de l'aquifère de la plaine de Kairouan. Cependant en raison de la large gamme de variation des paramètres hydrodynamiques et des incertitudes qui pèsent sur leur détermination et leur représentativité spatiale, la réserve estimée représente un ordre de grandeur et ne peut être considérée que comme indicative.

## Remerciement

Ce travail s'inscrit dans les thématiques traitées au sein des projets de Siced Dyshyme et ANR Arena avec la contribution de la DGRE et le CRDA de Kairouan.

Nous leur adressons nos vifs remerciements.

## Références

- [1] Y. Nazoumou, Analyse du réservoir aquifère de la plaine de Kairouan. Rapp. Tech. DGRE, Tunis, 2004, pp82.
- [2] C. Leduc., S. Ben Ammar, G. Favreau, Impacts of hydrological changes in the Mediterranean zone: environmental modifications and rural development in the Merguellil catchment, central Tunisia. Hydrol. Sci. J., (2007), 162-1178.
- [3] P. Arlai, A new approach to determine the groundwater storage volume, Sustainable Water Resource Symposium, Nakhon Pathom, Thailand (2011).
- [4] M. Besbes, Etude hydrogéologique de la plaine de Kairouan sur modèles mathématiques. Ecole Nationale des mines, Paris, 1975, pp.121.
- [5] M. Hamza, Contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal d'Ain el Beidha (Tunisie). Thèse Doc., Univ. Paris VI, 1976, pp.168.
- [6] R.A. Freeze., J.A. Cherry, Groundwater. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, NJ. 1979, pp.604.

## La gestion des ressources en eau en Algérie : Enjeux et stratégies

AHMED BOUSMAHA

Laboratoire Ressources Naturelles et Aménagement des Milieux Sensibles (RNAMS)  
Téléphone : 00 213 (0) 7 99 34 58 18. Adresse : Faculté des Sciences de la Terre et d'Architecture,  
Université d'Oum El Bouaghi, route de Constantine. 04 000 Oum El Bouaghi, Algérie.  
E-mail : bousmaha06@yahoo.fr

### Résumé

*Le monde est plus que jamais interpellé pour faire face à des défis majeurs, en rapport avec l'eau. En Algérie, la problématique de gestion de l'eau prend une grande importance et représente un enjeu capital dans le contexte d'un déficit chronique de pluviométrie émanant du réchauffement climatique. La situation catastrophique en matière des ressources en eau qu'a connue l'Algérie durant les années 2000 et 2001, due principalement à la sécheresse a incité les pouvoirs publics d'accorder une priorité à ce secteur vital. Après un diagnostic de la situation des ressources en eau, l'Algérie s'est dotée de dispositifs institutionnel, législatif et technique performants en matière de gestion rationnelle des ressources en eau afin de pallier les incohérences qui l'ont profondément marqué durant les décennies antérieures. Mais, les résultats escomptés ne sont pas encore satisfaisants et le bilan en ressources en eau reste déficitaire. Dans ce contexte, il est indispensable d'adopter de nouvelles pratiques de gestion économes et "durables" de notre patrimoine hydrique dans le cadre d'une politique de bonne gouvernance des ressources en eau qui doit passer par un dialogue entre les différents acteurs et une gestion intégrée de toutes les activités économiques et de toutes les actions d'aménagement du territoire.*

**Mots clés :** ressources en eau, changement climatique, déficit hydrique, gestion intégrée des ressources en eau, sécurité en eau

## Water resources management in Algeria: issues and strategies

### Abstract

*The world is more than ever challenged to face major problems with relation to water. In Algeria, the issue of water management is of great importance and represents a major contest in the context of a chronic shortage of rainfall from global warming. The catastrophic situation of water resources. What was known in Algeria during the years 2000 and 2001 was mainly due to drought that has prompted the government to give priority to this vital field. After a diagnosis of the situation of water resources, Algeria has adopted effective institutional, legal and technical arrangements for the sound management of water resources in order to overcome the inconsistencies that have profoundly influenced during antecedent decades. However, the expected results are not yet satisfactory and the state water resources remains negative. In this context, it is necessary to adopt new practices and efficient ways of management "sustainable" our water heritage in the context of a policy of good governance of water resources must go through a dialogue between the different actors and integrated management of all economic and all planning activities.*

**Key Words:** water resources, climate change, water deficit, integrated management of water resources, water security

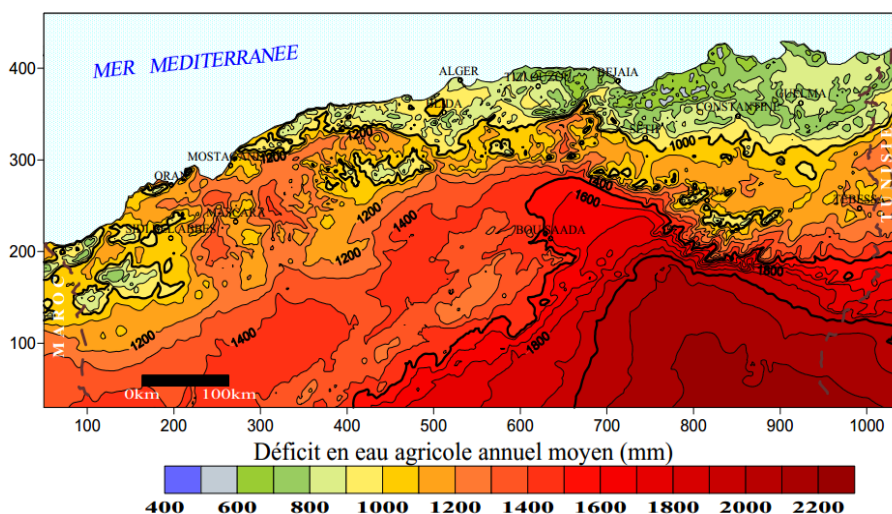
## Introduction

La zone méditerranéenne est l'une des zones du monde les plus vulnérables au changement climatique [1]. « Dans son quatrième rapport paru en 2007, le Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) combine vingt-cinq modèles climatiques globaux afin d'évaluer les impacts du changement climatique aux horizons 2050 et 2100. Selon leurs travaux, une hausse des températures de +2 à +3°C est à prévoir en région méditerranéenne à l'horizon 2050, puis de +3 à 5°C à l'horizon 2100 » [2]. Les ressources en eau en Algérie sont estimées à environ 17 milliards de m<sup>3</sup>, pour 600 m<sup>3</sup> annuellement mobilisables par habitant [3] soit un volume nettement en dessous des normes internationales admises (1000 m<sup>3</sup> par habitant et par an). Selon Kettab, bientôt la demande sera supérieure aux ressources [4]. Cette ration fait de l'Algérie un pays situé sous le seuil de rareté, traduisant un déficit en eau. Outre la rareté de la ressource, une grande disparité spatiale en termes de répartition de la ressource et une insuffisance dans la gestion de l'eau. Cette ressource vitale est menacée dans sa qualité et dans sa quantité. Malgré la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement, l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m<sup>3</sup> d'ici l'an 2025 dans le cas d'une mauvaise gestion de l'eau et d'une non maîtrise des ressources non conventionnelles [5]. En Algérie l'eau souffre de deux énormes contraintes : la rareté et la mauvaise gestion [6]. Cette situation implique la mise en place d'une politique de l'eau axée sur la rareté croissante de cette ressource à l'épreuve du changement climatique. Face ces constats, le but de ce travail est de réaliser un portrait objectif sur la gestion de l'eau en Algérie.

## I. Déficit hydrique et changement climatique

La question de déficit hydrique, de demandes et de besoins des populations et de changement climatique, nous amènent à poser des questionnements quant à l'évolution conjointe de la pression sur la ressource en eau et de sa disponibilité dans les années à venir. Cependant, quel que soit le type de transfert inter bassin (petite, moyenne ou grande hydraulique pour capter les écoulements superficiels, forages profonds, pompage des nappes alluviales, puits artésiens pour mobiliser les eaux souterraines), l'irrégularité de l'alimentation en eau demeure en Algérie une contrainte fondamentale. Telle qu'illustrée par la figure n°1, représentant les zones de déficit hydrique moyen annuel de l'Algérie du Nord, la répartition des déficits traduit la brutalité des contrastes climatiques en Algérie. Le stress hydrique est plus accusé dans la région de l'Ouest algérien. Les menaces du réchauffement climatique induiront des modifications du cycle de l'eau, une dégradation des terres agricoles et une baisse de la fertilité des sols [7].

Figure 1 : zones de déficit hydrique moyen annuel de l'Algérie du Nord



Source : Mebarki & Laborde, 2009.

Les caractéristiques climatiques en Algérie se résument aux précipitations qui sont irrégulières aux plans temporel et spatial et à un cycle long de sécheresse. Ce qui traduit l'accentuation de l'aridité avec une baisse de la pluviométrie se traduisant par une réduction du renouvellement des nappes aquifères et une diminution des apports au niveau des barrages [8]. Les évolutions socio-économiques actuelles ne sont guère rassurantes. Les terres arables diminuent au profit d'une urbanisation non maîtrisée. La croissance démographique, l'évolution des modes de vie etc., accroissent considérablement la demande en eau, quels que soient ses usages, réduisant la part allouée à l'agriculture. Les ressources en eau sont à l'évidence

fortement conditionnées par les variables climatiques qui en déterminent les apports et la dynamique du cycle de l'eau (précipitations, températures). Consécutivement à l'augmentation de la température, l'évaporation plus importante des masses d'eau diminuerait les quantités de ressources disponibles. Dans son quatrième rapport paru en 2007, le Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) combine vingt-cinq modèles climatiques globaux afin d'évaluer les impacts du changement climatique aux horizons 2050 et 2100. Selon leurs travaux, une hausse des températures de +2 à +3°C est à prévoir en région méditerranéenne à l'horizon 2050, puis de +3 à 5°C à l'horizon 2100 [9]. Pour anticiper les impacts prévisibles du changement climatique, l'Algérie prévoit la mise en œuvre d'un plan d'action intégrant la réévaluation des ressources en eau renouvelables, l'adaptation des programmes de gestion des retenues actuelles et de construction de nouveaux barrages, la ré-estimation des capacités d'exploitation des eaux souterraines, les économies d'eau et le développement de ressources en eau non conventionnelles, ainsi que l'établissement de plans de gestion des risques [10]. Face à ces constats, les stratégies actuelles de développement prennent désormais en compte les impacts potentiels des changements climatiques.

## 2. Le diagnostic des ressources hydriques en Algérie

L'analyse SWOT combine l'étude des forces et des faiblesses d'une organisation, d'un territoire, d'un secteur, etc. avec celle des opportunités et des menaces de son environnement, afin d'aider à la définition d'une stratégie de développement. Le but de cette analyse est de prendre en compte dans la stratégie, à la fois les facteurs internes et externes, en maximisant les potentiels des forces et des opportunités et en minimisant les effets des faiblesses et des menaces. Pour faire face au stress hydrique, l'Etat algérien a investi dans la construction de barrages et la réalisation de forages ainsi que le recours aux ressources dites non conventionnelles (dessalement de l'eau de mer, épuration des eaux usées). Pour compenser les déficits, l'Algérie mène une politique active, conciliant le recours à différents types d'aménagement (barrages et transferts inter-bassins, eaux d'épuration pour la mise en valeur de nouvelles terres, dessalement, exploitation et transfert vers les Hauts Plateaux des eaux des nappes profondes du Sahara) ainsi qu'à de nouveaux instruments de gestion comme les schémas directeurs d'aménagement, les agences de bassin, la législation de l'eau et de l'environnement. Quant à l'entrée en exploitation de nouveaux barrages, elle va permettre d'atteindre une capacité de mobilisation de 10 milliards de m<sup>3</sup> par an, permettant ainsi de réduire le volume annuel de déperdition de plus de 3 milliards de m<sup>3</sup> [11]. L'achèvement et la mise en exploitation des nouvelles stations d'épuration d'eaux usées vont permettre d'affecter plus de 650 millions de m<sup>3</sup> d'eaux épurées et traitées au secteur agricole. En plus, la littorale algérienne de 1200 km laisse entrevoir d'énormes possibilités en matière de désalinisation de l'eau de mer qui pourrait être une solution d'avenir.

Les ressources hydriques actuelles sont par ailleurs fragilisées par une forte démographie et d'importants besoins saisonniers touristiques et agricoles. Ces pressions sur les ressources en eau s'accompagnent d'une dégradation croissante de leur qualité et de leur surexploitation. Tel qu'illustré par la matrice des ressources en eau en Algérie (tableau 1), les contraintes et les menaces qui se résument par la surexploitation des ressources souterraines dans le Nord du pays qui présentent des signes d'épuisement. La stratégie doit dessiner des alternatives et dépasser les menaces et parvenir à déceler les solutions qui soient en mesure d'atténuer les faiblesses et risques. Les contraintes évoquées dans l'analyse SWOT et les menaces signalées précédemment doivent être considérées.

Tableau 1 : La matrice SWOT

FORCES (Strengths)	FAIBLESSES (Weaknesses)
Des ressources souterraines importantes et de qualité encore préservée. De grandes étendues recueillant un volume ruisselé non négligeable, malgré la faible pluviométrie. Importance des espaces à vocation pastorale, moins consommateurs d'eau que l'agriculture. Faiblesse et irrégularité de la pluviométrie.	Contexte favorable à l'érosion et à l'envasement des barrages. Faible connaissance du potentiel valorisable en eaux souterraines. Absence de contrôle des prélèvements en eau. Faible organisation pour la gestion des retenues collinaires, de l'irrigation, l'assainissement Problèmes liés à la gestion et à la gouvernance de l'eau.
OPPORTUNITÉS (Opportunities)	MENACES (Threats)
- De mobilisation, de transfert et de gestion des ressources en eau. - Des possibilités de transferts intra et interrégionaux permettant de valoriser au mieux une ressource souterraine importante (proximité des nappes sahariennes). - Mise en œuvre de nouvelles Politiques comme la mise en œuvre de l'Impératif Haut Plateau permettant de mobiliser les financements et de développer les capacités de gestion de la ressource en eau et de l'assainissement. - Un potentiel de meilleure connaissance de la ressource en eau par le lancement d'études importantes.	- Changement du climat si défaut d'adaptation (systèmes de production, stockage de l'eau) - Développement non maîtrisé de l'irrigation à partir d'eau souterraine - Développement d'activités fortement consommatrices d'eau en lien avec l'Impératif Haut Plateau. - Dégradation de la qualité des nappes liée à la surexploitation (salinité) - Dégradation de la qualité des eaux des retenues à cause de la mauvaise gestion de l'assainissement - Envasement des retenues limitant leur durée de vie - La faiblesse des capacités de gestion des risques naturels liée à l'eau.



### 3. La gestion des ressources en eau en algérie

La politique algérienne de gestion de l'eau est davantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles [12]. Cet effort de mobilisation des ressources en eau, a été basé sur la gestion de l'offre, par un mécanisme de gouvernance pour assurer la sécurité hydraulique sur l'ensemble du territoire algérien. Avant la création en Algérie des agences de bassins hydrographiques, la gestion des ressources en eau était de type centralisé, ce qui n'a pas permis de satisfaire les besoins en eau et ce, malgré des investissements importants et coûteux. Cette centralisation des décisions a engendré d'énormes problèmes, qui ont été aggravés par l'insuffisance de la protection de la ressource, surtout en termes de quantité et de qualité. Parallèlement, d'autres contraintes ont apparu, notamment le manque d'arbitrage des conflits d'usages situés à l'intérieur des limites administratives. Ce mode de gestion était devenu anachronique, par rapport aux gestions modernes et participatives des ressources en eau par les différents acteurs au sein du bassin hydrographique [13]. Pour assurer notre sécurité en eau, il serait souhaitable de mettre en œuvre de nouvelles pratiques de gestion économes et durables du patrimoine hydrique et la mise en place « de politiques de bonne gouvernance des ressources en eau ».

En Algérie, la loi de 2005 a réformé l'ensemble du dispositif institutionnel de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) qui avait été initialement mis en place en 1996 en s'inscrivant dans l'approche adoptée par la déclaration de la conférence internationale sur l'eau et l'environnement de Dublin (janvier 1992) et la déclaration de la conférence de Rio sur l'environnement et le développement appelée Sommet de la Terre (juin 1992). Le dispositif institutionnel de la GIRE a été récemment réorganisé avec la création de l'agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau « AGIRE » par décret exécutif du 30 juillet 2011. Cette réorganisation vise à renforcer davantage les capacités d'intervention du secteur dans ce domaine notamment à travers la coordination des activités et une répartition mieux équilibrée des ressources financières mobilisées par le fonds national de gestion intégrée des ressources en eau (FNGIRE). Dans ce nouveau schéma organisationnel, les agences de bassins hydrographiques sont rattachées à l'AGIRE en tant que démembrements territoriaux où continuera à s'exercer la concertation au sein des comités de bassins. La gestion intégrée des ressources est la prise en charge de la gestion des ressources souterraines par le suivi et le contrôle des prélèvements, la mise en place d'une gestion collective à l'échelle locale, la mise en place des droits d'usage et des redevances d'usages. La satisfaction continue de la demande en eau et spécialement durant les périodes de sécheresse, nécessite une infrastructure propre à satisfaire la demande de ressources en eau alternatives. La réalisation d'infrastructures de transfert et de connexions entre systèmes hydrauliques constitue la piste la plus plausible pour assurer la sécurité hydraulique en Algérie. L'engagement de la politique de l'eau sur la voie de la gestion de la demande s'opère d'une manière assez timide. Cette stratégie doit être renforcée d'une manière progressive afin de parvenir à une véritable gestion de la demande, seule voie pour relever les défis qui se posent au développement et à la gestion des ressources en eau. La connaissance de cette politique conduit à consolider l'approche participative dans la gestion des ressources en eau à travers le développement des associations des usagers de l'eau, concourant à l'intérêt collectif d'une utilisation efficiente et conservatrice de ces ressources. Pour assurer notre sécurité en eau, il serait souhaitable de mettre en œuvre de nouvelles pratiques de gestion économes et durables du patrimoine hydrique et la mise en place « de politiques de bonne gouvernance des ressources en eau ».

### Conclusion

Les besoins en eau ont longtemps été ressentis essentiellement pour l'utilisation agricole (irrigation) mais la forte croissance démographique et l'urbanisation, les nouvelles implantations industrielles, les équipements touristiques relèvent d'autres consommations en forte croissance. Dans ce contexte, une véritable « économie de l'eau » devra être mise en place pour éviter de trop grandes distorsions entre secteurs d'utilisation mais aussi entre régions inégalement dotées. De manière générale, l'Algérie pourrait souffrir de pénuries du fait du changement climatique, qui affecte les quantités d'eau disponibles, et de l'augmentation de la demande en eau. La politique de l'eau à mener aux cours des années à venir est à focaliser sur une gestion plus efficace d'une ressource de plus en plus rare. Toute en valorisant l'existant, elle devra privilégier la gestion de la demande plutôt que celle de l'offre, qui a atteint ses limites. La réussite d'une gestion intégrée de l'eau suppose une réelle implication des élus et des usagers qui sont appelés à contribuer activement à la prise de conscience sur les enjeux de l'eau au moment où les impacts de changements climatiques sont de plus en plus significatifs dans notre pays. En effet, ces changements climatiques ont une incidence à la fois sur les potentialités en eau mais aussi sur leurs fluctuations temporelles. La politique de gestion des ressources en eau doit être basée sur des axes stratégiques comme l'amélioration de l'existant, la mobilisation et la préservation des ressources en eau pour assurer la satisfaction des besoins en eau et sa protection quantitative et qualitative dans le cadre d'une bonne gouvernance de l'eau.

### Références

- [1] M. Milano, Les impacts prévisibles du changement climatique sur les ressources en eau de quatre grands bassins versants Méditerranéens », Plan Bleu, Sophia Antipolis janvier 2010. Plan bleu.com/.
- [2] M. Milano, idem
- [3] Ministère des Ressources en Eau, 2012.
- [4] A. Kettab, L'eau au 3ème millénaire : enjeux, stratégies, politiques, défis, vision, Conférence plénière à l'occasion de la journée mondiale de l'eau, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Mars 2000.
- [5] B. Remini, La problématique de l'eau en Algérie du nord. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 27-46.
- [6] K. Kherbache, La problématique de l'eau en Algérie. Enjeux et contraintes. Mémoire de Magister en Sciences économique, université de Béjaïa, 2014.
- [7] A. Mebarki, P. Laborde, Bases d'information et cartographie des bilans hydriques de l'Algérie du Nord (1er Colloque International sur la Gestion Intégrée des Ressources en Eau – GIRE, Batna, Algérie, 10-11 novembre 2009), Proceedings, 72-75.
- [8] A. MOUSTIRI, Stratégie et indicateurs du secteur de l'eau en Algérie, le Caire 21-22 novembre 2011.
- [9] M. MILANO, Les impacts prévisibles du changement climatique sur les ressources en eau de quatre grands bassins versants Méditerranéens », Plan Bleu, Sophia Antipolis janvier 2010. Plan bleu.com/
- [10] M. BENBLIDIA, G. THIVET G., Gestion des ressources en eau : les limites d'une politique de l'offre ». Plan Bleu. Les Notes d'analyse du CIHE AM. N° 58 – Mai 2010. www.ciheam.org
- [11] Ministère des Ressources en Eau, idem
- [12] M. BENBLIDIA, G. THIVET G., idem
- [13] A. KHADRAOUI, Présentation des enjeux du Bassin de l'Agence de bassin Hydrographique « Sahara » en matière de gestion intégrée des Ressources en eau – Cas du bassin Sahara septentrional. In Colloque tenu au Centre Universitaire Abbès LAGHROUR de KHENCHELA, les 6 et 7 décembre 2011 intitulé « développement durable des territoires et zones arides ou semi-arides dans le bassin méditerranéen.

## **Vers une nouvelle gestion de ressource en eau adaptée aux risques climatiques et politiques dans le sahel de Sousse et Monastir**

Fadia Gafsi,

GRED (Université Montpellier/IRD), Université PAUL-VALÉRY  
UMR GRED - St Charles, Route de Mende, 34 199 MONTPELLIER Cedex 5,  
[fadia\\_ga@yahoo.fr](mailto:fadia_ga@yahoo.fr)

### **Résumé**

*La pénurie d'eau, le stress ou encore la crise hydrique dépendent des facteurs hydrologiques et anthropiques.*

*De ce fait, autant le changement climatique, que les mutations socio-économiques et politiques doivent être pris en compte pour mettre en place les mesures adéquates afin de bien gérer l'eau à court et à moyen terme à l'échelle d'un territoire donné.*

*Dans ce contexte, la région du Sahel tunisien, notamment le Sahel de Sousse et Monastir est à plusieurs titres une illustration de la question de la pénurie physique et socio-économique de l'eau dans un contexte politique instable qui vient accroître les tensions sur cette ressource rare et précieuse.*

*Cet article tente de dresser un portrait de l'état actuel des connaissances sur les ressources en eau disponibles au Sahel de Sousse et Monastir. En effet, une brève analyse rétrospective de la tension sur les ressources en eau est présentée.*

**Mots clés :** Eau, Crise, Changement climatique, Politique, Impact

## **Towards a new water resource management adapted to climate and political risks in the Sahel of Sousse and Monastir**

### **Abstract**

*Water scarcity, stress or the water crisis depend on hydrological and anthropogenic factors. As a result, climate change, socio-economic and political changes must be taken into account in order to put in place appropriate measures to manage water in the short and medium term at the scale of a given land.*

*In this context, the Tunisian Sahel region, particularly the Sahel of Sousse and Monastir, is in many respects an illustration of the issue of the physical and socio-economic water scarcity in an unstable political context which increases the tensions on this rare and precious resource.*

*This article attempts to draw a portrait of the current state of knowledge on available water resources in the Sahel of Sousse and Monastir. Indeed, a brief retrospective analysis of the tension on water resources is presented.*

**Key Words:** Water, Crisis, Climate change, Politics, Impact

## Introduction

Le cadre du territoire sahélien est non seulement important pour traiter les problématiques de gestion de l'eau, mais il est aussi particulièrement propice à l'étude des impacts des mutations politiques et des changements climatiques (climat contrasté, sécheresse, etc.) avec une portée plus large dans le contexte tunisien et méditerranéen, puisque le Sahel de Sousse et Monastir représente un bon témoin de rareté et de réduction des disponibilités de l'eau ainsi que de la réduction de production agricole [Gafsi, 2016-2017]. En effet, comme dans d'autres régions côtières tunisiennes, cette zone est vulnérable aux effets des changements climatiques et politiques qu'a traversés la Tunisie depuis 2011. Par ailleurs, la dynamique des populations, l'intensification de l'urbanisation ou encore le développement rapide des activités socio-économiques aggravent le déficit de la région en termes de ressource en eau dans un contexte post-révolutionnaire.

Dans ce cadre, à partir d'une série d'enquêtes et d'entretiens, ce travail se veut une contribution à la gestion de l'eau au Sahel tunisien. Il s'intéresse à la situation alarmante de l'eau dans cette région, dans un contexte de changement climatique, socio-économique et politique instable.

## I. Présentation de la zone d'étude

Faisant partie de la Tunisie orientale, notre zone d'étude couvre l'ensemble du territoire de deux gouvernorats de Sousse et Monastir qui constituent ensemble l'une des plus importantes métropoles régionales du pays.

Avec une superficie de 3688 Km<sup>2</sup>, ils totalisent une population de 1 223 799 d'habitants en 2014 [Gafsi, 2017]. Le Sahel de Sousse et Monastir est considéré comme « une plateforme stable » comme l'a défini Pomel [A. Amari et Bedir, 1989 ; Gafsi, 2017] et appartient à l'ensemble des basses steppes [Despois, 1956, Plante, 2006 ; Gafsi, 2017]. Regroupant deux zones humides (la lagune de Monastir et la sebkha de Moknine), le gouvernorat de Monastir est bordé par la Méditerranée et par la Sebkha de Sidi El Hani. De même, les zones humides et les lagunes (notamment les sebkhas de Sidi El Hani, de Sidi Khalifa et El Kelbia), constituent une composante majeure du paysage du gouvernorat de Sousse, qui est caractérisée par une grande sensibilité et une fragilité de son écosystème [DGAT, 2009 ; Gafsi, 2017].

Par ailleurs, cette région occupe une situation stratégique en bordure de la mer et s'étend sur une large façade maritime de 110 km de longueur. Elle est subdivisée en 29 délégations ; soit 16 délégations pour le gouvernorat de Sousse et 13 délégations pour le gouvernorat de Monastir (Figure 1). En effet, les secteurs littoraux représentent un enjeu économique et social fort dans ces gouvernorats, qu'il s'agisse des plages, des zones d'hôtellerie et qu'ils concentrent une bonne partie de ses activités économiques culturelles et sociales [Bourgou et Miossec, 2010].

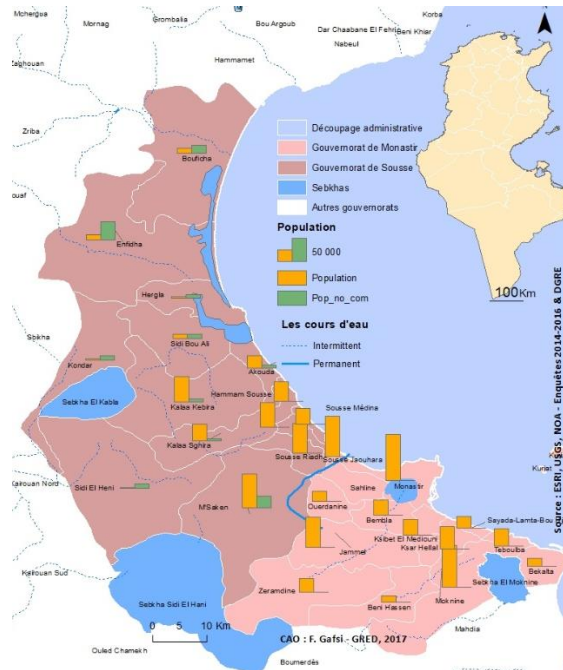


Figure 1 : Carte du Sahel de Sousse et Monastir [Gafsi, 2017]

## 2. Le Sahel tunisien : un climat contrasté

Située dans la région du centre est de la Tunisie, qui est connu par un climat aride et semi-aride, ainsi que par des étés chauds et des hivers humides, la région du Sahel appartient à la Tunisie orientale avec un « *climat méditerranéen steppique* » [Despois, 1955 ; Gafsi, 2017]. Elle se caractérise par l'absence de relief ce qui lui donne une originalité climatique, différente des autres pays voisins. Appartenant à une zone de contact entre deux étages bioclimatiques, aride et subhumide, cette région se caractérise donc par une aridité intense qui se définit par une variabilité exceptionnelle de la pluviométrie et par l'agressivité des vents et des pluies [Ben Boubaker et al., 2001 ; Gafsi, 2017]. Elle est influencée par l'un ou l'autre des climats de ces zones en fonction des années climatiques.

Comme d'autres régions côtières méditerranéennes, la région du Sahel tunisien est caractérisée par un climat contraignant avec des précipitations inégalement réparties dans le temps et dans l'espace [Ben Boubaker et al., 2001 & Hénia, 2001 ; Gafsi, 2017]. Il convient de mentionner dans ce même cadre que cette zone est vulnérable aux effets du changement climatique, « *qu'il s'agisse de l'élévation du niveau de la mer qui affecterait les nappes côtières et leur qualité de l'eau..., que des effets d'augmentation des températures, des précipitations modestes et des contrastes saisonniers ou encore de la pression des activités anthropiques* » [Gafsi, 2016 - 2017]. En effet, cette évolution du climat peut se traduire par un déficit d'écoulement des cours d'eau dans cette région et par la réduction du niveau piézométrique de certaines aquifères, notamment les nappes côtières telle que la nappe d'oued El Khairat (au Nord du gouvernorat de Sousse).

Par ailleurs, l'analyse des données collectées par nos soins auprès de différents organismes, notamment les deux commissariats régionaux au développement agricole (CRDA) de Sousse et de Monastir, ainsi que la direction générale des ressources en eau (DGRE), montre que la succession des années sèches et l'impact des prélèvements provoquent une baisse de la piézométrie des aquifères ce qui engendre une augmentation de la salinité surtout au niveau des nappes littorales. L'augmentation du niveau de la mer dans ces zones côtières risque d'aggraver la situation en termes de la qualité de ces nappes, et par conséquent, elle génère le problème d'intrusion marine telle que la nappe Teboulba, située au sud du gouvernorat de Monastir et est soumise à une double menace d'intrusion saline depuis le Sebkhia de Moknine au Sud et de la Mer Méditerranée au Nord [CRDA, 2014 & Gafsi, 2016].

## 3. L'eau au Sahel de Sousse et Monastir : enjeu hydrique et géopolitique

La pression sur l'eau qui atteint actuellement plusieurs régions tunisiennes, notamment les zones littorales, influence grandement l'état de cette ressource précieuse et risque de mettre en péril la sécurité hydrique dans plusieurs régions tunisiennes ; notamment la région du Sahel [Gafsi, 2017].

Depuis quelques années, l'augmentation de la demande dans cette région a été favorisée par une exploitation de plus en plus intensive des eaux souterraines et de surface, des ressources externes, ou encore des ressources non conventionnelles (réutilisation des eaux usées traitées, dessalement des eaux et recharge artificielle des nappes).

Dans ce cadre, le Sahel de Sousse et Monastir est marqué, d'une part, par un déficit structurel où l'ensemble des demandes est supérieur au potentiel naturel, d'autre part, il est marqué par une pénurie conjoncturelle qui est le résultat de grandes tensions qui s'exercent sur la ressource notamment, la dynamique des populations, l'intensification de l'urbanisation, ou encore les changements climatiques et politiques [Gafsi, 2017].

Cette situation de pénurie qui favorise la multiplication des conflits autour de son usage et de son partage, menace aussi les régions internes et certaines autres régions côtières de Tunis, de Nabeul, ou encore de Sfax surtout après la révolution de 2010.

Par ailleurs, il importe de mentionner que selon nos enquêtes de terrain les deux CRDA de Sousse et de Monastir, avec d'une part ses moyens matériels modestes, d'autre part, la situation politique instable, ne sont plus en mesure de maîtriser la situation de l'exploitation des nappes avec l'augmentation du nombre des puits illicites surtout après 2011. En effet, cette situation a amorcé une crise de l'eau dans un contexte aggravée par le changement climatique et l'instabilité politique [Gafsi, 2017].

## Conclusion : Vers une bonne gestion et gouvernance de l'eau

La Tunisie a eu très tôt une politique de maîtrise et de gestion de l'eau. Elle a entrepris de grandes réformes dans le secteur de l'eau, des aménagements hydro-agricoles ainsi que les conduites de transferts de l'eau du Nord et du Centre vers le littoral [Mamou, A. et A. Kassah, 2000 ; Gafsi, 2016]. Toutefois, elle est confrontée à de nouvelles difficultés, notamment les risques de pénurie d'eau sur certains secteurs ; notamment le Sahel de Sousse et de Monastir, et qui pourraient s'accroître, du fait d'une inégale répartition des ressources, du développement socio-économique, de l'évolution du climat, ou encore de l'instabilité politique après 2011 [Gafsi, 2017].

Enfin, dans ce contexte de changement climatique et des mutations politiques, la question se pose concernant l'instauration d'une police des eaux en Tunisie et à une gestion participative de ces aquifères, en particulier dans notre zone d'étude à

travers des comités locaux de gestion des nappes composées des exploitants qui veillent à la sauvegarde de la ressource en eau dans ces nappes contre la surexploitation et le dépassement de certains habitants qui profitent de la situation politique instable dans le pays et de l'affaiblissement de l'administration.

## Références

- [1] F. Gafsi, Géopolitique de l'eau au Sahel dans la Tunisie post-révolutionnaire : contexte de crise, réponses institutionnelles et sociétales, Thèse de doctorat, Université de Montpellier 3, 2017.
- [2] F. Gafsi, Analyse rétrospective de la tension sur l'eau dans le Sahel tunisien, La Houille Blanche, N°5, Octobre (2016), 45-50.
- [3] A. Amari, M. Bedir, Les bassins quaternaires du Sahel central de la Tunisie, genèse et évolution des sebkhas en contexte décrochant compressif et distensif. Géodynamique, 4 (1989), 49-65.
- [4] J. Despois, La Tunisie orientale : Sahel et basse steppe. Publication de l'Institut des Hautes Etudes de Tunis, Presses Universitaires de France, 1955.
- [5] M.E. Plante, Tunisie, Géographie et territoire, Paysage et environnement, (2006).
- [6] DGAT, Schémas Directeur d'Aménagement du Territoire de grand Sousse, (2009).
- [7] M. Bourgou et J.M. Miossec, Les littoraux. Enjeux et dynamique, PUF, coll « L. » (2010), 248 pages.
- [8] H. Ben Boubaker Habib, Z. Benzarti et L. Hénia, Les ressources en eau de la Tunisie : contraintes du climat et pression anthropique, Eau, Environnement et milieux méditerranéens, ENS éditions, (2001), p. 38-52
- [9] L. Hénia, Les grandes sécheresses en Tunisie au cours de la dernière période séculaire, (2001).
- [10] CRDA, Sousse, F. MaaLaL, Les ressources en eau dans le gouvernorat de Sousse, (2014), traduit de l'arabe par F. Gafsi, (2015).
- [11] A. Mamou, A. Kassah, Economie et valorisation de l'eau en Tunisie, Science et changements planétaires/ Sécheresse. V 11 (4), (2000), 249-256.
- [12] F. Gafsi, Les problèmes de l'eau dans le Sahel Tunisien, Les journées des doctorants maison de l'eau de Montpellier, 20 mars (2015)

## Évaluation quantitative des eaux souterraines de la région d'Annaba

### El Tarf (Nord- Est Algérien)

BOUNAB<sup>1</sup>, Samia, Kherici Bousnoubra<sup>2</sup>

1 : *Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement- Faculté de Technologie. Université A /Mira route de Targa Ouzemour 06000 Bejaia - e-mail: bounsam2006 @yahoo.fr*

2 : *Laboratoire d'Hydraulique Université badji mokhtar Annaba*

#### Résumé:

Face à l'accroissement sans cesse des besoins en eau de la région du Nord-Est Algérien (Annaba, El Tarf), lié à l'augmentation de la population, au développement socio-économique et à l'implantation d'industries, alors que le déficit chronique en eau est difficile à combler. Il est demandé d'entreprendre des recherches approfondies dans la politique de l'eau, basée sur l'évaluation des ressources en eaux superficielles et souterraines et justifiée par la mise en place d'une nouvelle stratégie de gestion des ressources plus fiable et plus efficace. Donc dans cette vision, ce travail est engagé pour évaluer les potentialités et voire le volume des eaux souterraines mobilisé.

**Mots clés :** Annaba – El Tarf, ressources en eaux souterraines, potentiel hydrique, évaluation

## Quantitative assessment of groundwater in the Annaba El Tarf region (North-East Algeria)

#### Summary

With regard to the increase constantly in the requirements out of water for the area for the Algerian North-East (Annaba, El Tarf), related on the increase in the population, the socio-economic development and the establishment of industries, the chronic water deficit is difficult to fill. It is asked to begin the research deepened in the policy of the water, based on the evaluation of the water resources surface and underground and justified by the installation of a new strategy of stock management more reliable and more effective. So in this vision, this work is undertaken to assess the potential and see the volume of groundwater.

**Key words:** Annaba – El Tarf, resources subsoil waters, potential hydrous, evaluation

**INTRODUCTION**

La pénurie de l'eau et sa dégradation préoccupent de plus en plus les pays du monde entier. Selon la FAO 2000, la demande mondiale en eau potable va doubler tous les 20 ans et comme la pollution industrielle, agricole et domestique menace les réserves d'eau de surface, les nappes souterraines deviennent une ressource de plus en plus rare.

Le bilan hydrologique moyen annuel de l'Algérie du Nord fait ressortir l'importance du déficit d'écoulement qui atteint 87,4 % alors que 12,6 % seulement des précipitations profitent à l'écoulement MEBARKI A, 2010. (Tableau 1).

Tableau 1 : Bilan d'écoulement moyen annuel de l'Algérie du Nord (Période : 1965/66- 1994/95)

Écoulement (E)	Déficit d'écoulement (D)	
80, 690	10,174	70, 515
100%	12.6%	87.4%

Les potentialités en eau en Algérie sont estimées globalement à 19 km<sup>3</sup> par an, correspondant à environ 530 m<sup>3</sup> par habitant et par an (situation 2010). Sans le recours à de nouvelles ressources, ce taux passera à moins de 500 m<sup>3</sup>/ habitant en 2025. De ce fait, l'Algérie se situe dans la catégorie des pays pauvres en ressources en eau, au regard du seuil de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m<sup>3</sup>/ habitant/ an.

Les ressources en eau se répartissent comme suit :

- 14 km<sup>3</sup> dans les régions Nord : 12 km<sup>3</sup> écoulements superficiels, 2 km<sup>3</sup> ressources souterraines ;
- 5,2 km<sup>3</sup> dans les régions sahariennes : 0,2 km<sup>3</sup> écoulements superficiels, 5km<sup>3</sup> ressources souterraines, MEBARKI A, 2010.

Ses ressources très limitées, font l'objet des multiples demandes et un nombre excessif d'individus, d'organismes ou d'institutions s'efforcent de les gérer. Afin de répondre aux préoccupations de l'heure et du contexte actuel, le présent travail relatif à l'évaluation du potentiel hydrique souterraine du Nord Est Algérien (Annaba- El Tarf) pour avoir une idée précise sur ses réelles réserves en eaux dans les limites de son territoire.

**I. CADRE GENERAL DE LA RÉGION D'ETUDE**

La région d'étude couvre les wilayas d'Annaba et El Tarf, répartis sur une superficie de 4410 km<sup>2</sup>. Elle est limitée au Nord par la mer méditerranéenne, au Sud par les wilayas de Guelma-Souk Ahras, à l'Est par la frontière Algéro-Tunisienne et à l'Ouest par la wilaya de Skikda (Fig1)

C'est une région à vocation agricole et industrielle. Elle fait partie essentiellement de l'Atlas Tellien, dont la géomorphologie est formée par une chaîne montagneuse, des plaines et des bassins versants. Ces formes sont liées principalement à la géologie, la tectonique qui a affectée la région et à l'accumulation des sédiments alluviaux et éoliens pendant le Quaternaire.

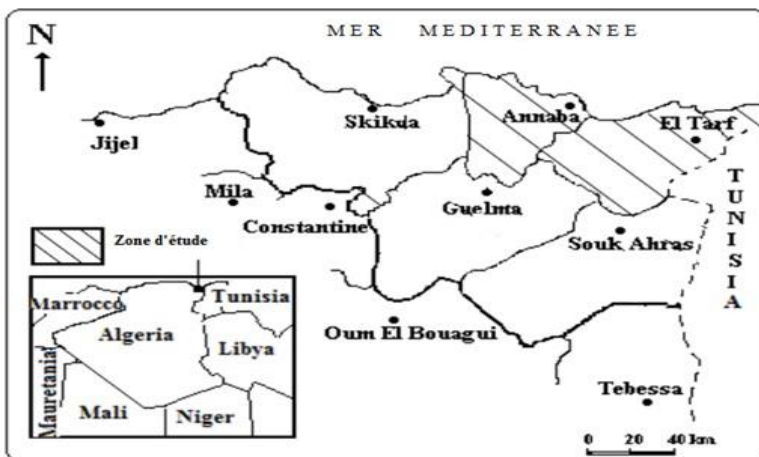


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude



## 2. NATURE DES AQUIFERES

Les aquifères d'Annaba et de Bouteldja (W d'El-Tarf) d'une superficie de près de 800 km<sup>2</sup> occupent le Nord- Est de l'Algérie est bordée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par les massifs numidiques de Bouteldja, à l'Ouest par le massif de l'Edough, et au Sud par le prolongement oriental de la chaîne numidique (Monts de la Chefia et d'El-Kala). Elle constitue la basse plaine des oueds Ressoul, Seybouse, Bounamoussa et Kébir

## 3. LES RESSOURCES HYDROGEOLOGIQUES

La détermination des ressources en eau souterraines et leurs disponibilités potentielles est étroitement liée à la structure hydrogéologique des nappes aquifères. Les formations du système aquifère sont constituées de sédiments mio-pliocène et quaternaires des deux fosses. Le remplissage de ces fosses s'est effectué de manière hétérogène, forment une alternance d'argile sableuse, de sable, de graviers et de travertins, ou l'on distingue 7 réservoirs d'importance inégale (Gaud, 1996).

1° La nappe des formations superficielle cette nappe est contenue dans des formations sablo-argileuses incluant des lentilles de sable. Des argiles grises compacte en constituent le substratum. La nappe phréatique est globalement libre, sauf en quelques points ou elle est captive sous des niveaux d'argiles. L'épaisseur de cette nappe varie de 0 à 18 m.

2° La nappe des graviers. Elle couvre l'ensemble de la zone d'étude et présente des bonnes qualités hydrauliques.

3° La nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja. Au Nord- Est la nappe est contenue dans les sables éoliens reposant sur le remplissage moi-pliocène de la fosse de Ben-M'hidi.

4° La nappe des alluvions de la haute terrasse. Elle s'étend le long des massifs numidiens à l'Ouest et au Sud de la plaine d'Annaba. Ces alluvions graveleuses et caillouteuses à matrice argileuse ont des possibilités aquifères très limitées.

5° La nappe des cipolins. Elle se situe dans les massifs de bordure du Belilieta et de Boukhadra. Elle est contenue dans des lentilles de cipolins, fissurés, existant au sein des gneiss et micaschistes du monoclinale métamorphique du Boukhadra. Ces calcaires sont en contact avec les alluvions de la plaine. Leur superficie est inférieure à 100ha.

6° La nappe des travertins. Elle est mal délimitée. Elle a été localisée dans le secteur compris entre Fardaous, la butte de Daroussa, Chbaita et la ferme Hallal Aissa.

7° La nappe libre du cordon dunaire. Elle est contenue dans les dunes le long de la Méditerranée l'Ouest de la Mafragh. Elle présente l'intérêt de protéger la nappe phréatique des venues d'eau salées.

## 4. METHODOLOGIE

Le présent travail se base sur des chiffres qui émanent d'organismes publics algériens (communes, daïras, wilayas) et agences nationales spécialisées (ANRH, ABH, DHW, ANAT, ADE...). Pour la plupart ponctuelles, ont été complété en parallèle par des enquêtes répétées sur le terrain d'étude et de nos calculs et interprétations, afin d'établir une synthèse des connaissances actuelles admettant une vision synthétique accompagnée des chiffres régionaux.

## 5. RESULTAT ET DISCUSSION

### 5.1. ESTIMATION DU POTENTIEL HYDRIQUE SOUTERRAINES

L'estimation du potentiel hydrique en eaux souterraines de la région d'étude d'après Khérici-Bousnboura H.2002, Derradji.2004 et Bounab S.2007, montre que : la région de ANNABA globalise un volume total en eaux souterraines de l'ordre de 60. 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> dont la nappe alluvionnaire fournit à elle seule 40.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. La région d'EL TARG avec 75.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, comporte les plaines de Bouteldja- El-Tarf- Oum Teboul- Massif dunaire de Bouteldja dont la principale nappe est celle du massif dunaire fournissant 34.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. L'ensemble des systèmes Annaba – El-Tarf offre une réserve renouvelable de l'ordre 135 Mm<sup>3</sup>. Tableau 2.

### 5.2. ETAT DE MOBILISATION DES EAUX SOUTERRAINES

La mobilisation de la ressource souterraine est assurée par 219 forages (fig.2), donnant plus de 94 Mm<sup>3</sup>/an (DHW de la wilaya d'El Tarf). Face aux mobilisations très faibles des eaux de surface, Les ressources souterraines sont largement exploitées sur une réserve renouvelable de 135 hm<sup>3</sup> un volume de plus de 70% est exploité. (Bounab et al 2009)

Tableau 2. : Les réserves Renouvelables Dans l'extrême Nord-Est Algérien « Annaba– El Tarf »

Zones	Systèmes Aquifères	Superficie km <sup>2</sup>	Hmoy (m)	S ou ne	Réserves régulatrices Mm <sup>3</sup> /an	
A N N A B A	Alluvions récentes et actuelles	320	10	0.13	40	
	Terrasses	Faibles Potentialités Hydriques				
	Gneiss altérés	67	1.2	0.02	1.5	
	Cordon dunaire	10	3	0.10	3	
	Graviers	300	20	0.002	13	
	Cipolins	80	5	0.005	2	
<b>TOTAL</b>	<b>SYSTEME AQUIFERE ANNABA</b>				<b>60</b>	
E L T A R F	Plaine de Bouteldja	N-L	110	1	0.08	8
		N-C	110	42	0.0017	8
	Plaine d'El-Tarf	N-L	100	2	0.075	15
		N-C	100	5	0.001	0.5
	Plaine d'Oum Teboul	N-L	50	1.8	0.1	9
		N-C	50	7	0.0015	0.52
	Massif dunaire	N-L	170	1	0.2	34
<b>TOTAL</b>	<b>SYSTEME EL-TARF</b>				<b>75</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>SYSTEME AQUIFERES ANNABA – EL TARF</b>				<b>135</b>	

Hmoy : hauteur moyenne S : coefficient d'emmagasinement pour les nappes captive ne : porosité efficace pour les nappes libres

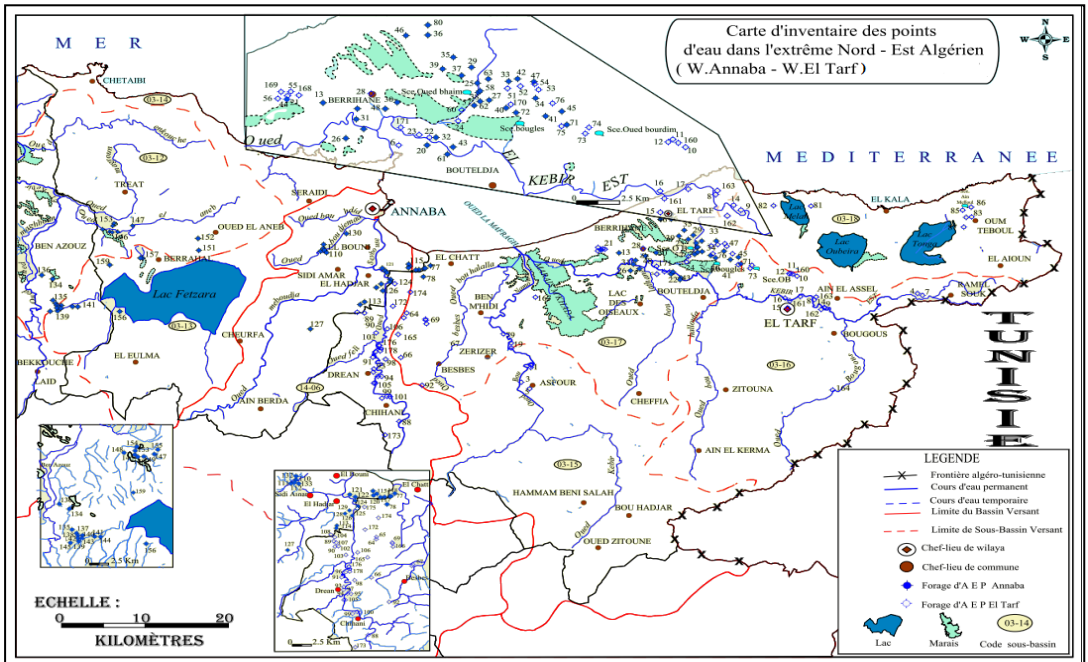


Figure 2 : Ouvrages de mobilisation de la ressource souterraine Des wilayas Annaba- El Tarf (NE Algérie). Bounab S 2007.

## 6. CONCLUSION

Les ressources en eaux sont abondantes dans la région d'étude surtout les eaux superficielles, mais ces ressources ne sont pas bien utilisées. Par contre les eaux souterraines sont les plus exploitées vu leur qualité chimique meilleure (sur une réserve de 135 hm<sup>3</sup> un volume de 94 hm<sup>3</sup> est exploité), soit 70%. Le déficit hydrique progresse régulièrement. Par ailleurs, les perspectives d'exploitation de nouvelles ressources conventionnelles sont limitées, voire nulles dans certains cas. Les ressources en eau, et plus particulièrement les eaux souterraines ne sont pas encore bien prises en compte dans les politiques d'aménagement du territoire : aucun captage ne fait l'objet d'une protection réglementaire destinée à limiter les impacts négatifs des activités humaines sur la qualité. Dans tous les cas, les réserves en eau disponibles restent insuffisantes avec une importante croissance des besoins, l'augmentation de la population, le développement des agglomérations, l'accroissement des terres cultivées, le développement intensifié des unités industrielles. Pour combler le déficit en eau à court et à long terme, le recours à d'autres solutions est nécessaire.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.D.E (Algérienne des eaux) : Situation de l'AEP à travers les wilayas Annaba, El Tarf. Rapport inédit.
- [2] Bounoubra, H., (2002). Ressources en eau des régions de Skikda, Annaba, El Tarf, Guelma, Souk-Ahras (Nord-Est algérien).- Evaluation, gestion et perspective.- vulnérabilité et protection. Thèse de doctorat en sciences. Annaba.Algérie.159 p.
- [3] Bounab Samia (2007) : Etat actuel des ressources en eau dans les wilayas d'Annaba El Tarf. Essai de synthèse –Bilan- Qualité – Perspective. Mémoire de Magister en Hydrogéologie université Annaba.Algérie.181p
- [4] Bounab S, Bounoubra H, Bahroune S Benrabah S, (2009) : Mobilisation et affectation des ressources en eaux dans l'extrême Nord-Est Algérien (Annaba El Tarf) : Première Symposium Méditerranéen de Géo engineering « SMGEO9 » Alger 20 et 21 juin 2009
- [5] Bounab S, Bounoubra H, Bahroune S Benrabah S, (2010) : Evaluation du degré de contamination par les Nitrates des eaux superficielles et souterraines de l'extrême Nord Est algérien. 2ème colloque international en Biotechnologie. Oran 26 – 29 Avril 2010
- [6] Bounab S, Bounoubra H, Benrabah S, Bahroune S (2011) : Situation quantitative et qualitative des eaux souterraines de la région Annaba-El-Tarf Nord-Est Algérie. Les 6<sup>ème</sup> Journées Internationales des Géosciences de l'Environnement. Université Mohammed Premier d'Oujda Maroc.
- [7] Bourabia Hanı (2011) : Faisabilité de l'implantation de bassins d'alimentation d'un aquifère. Cas du massif dunaire de Bouteldja. (Extrême Nord-est Algérien). Mémoire de Magister en Hydrogéologie université Annaba Algérie.
- [8] Derradji-F (2004) : Identification Quantitative et Qualitative des ressources en eau de la région de Annaba El Tarf. Thèse de Doctorat d'état.
- [9] D.H.W (Direction de l'Hydraulique de la wilaya d'Annaba et El Tarf). (2006 – 2007) Statistiques de l'hydraulique
- [10] MEBARKI A, (2010). La région du Maghreb face à la rareté de l'eau. Fortaleza - Ceará, Brazil: 2nd International Conference: Climate, Sustainability and.



*Colloque International*

*Ressources en Eau et Changement Climatique en Région Méditerranéenne*

*Eau - Climat'2014*

*Hammamet 21,22 et 23 Octobre 2014*



## SOMMAIRE

### Eaux Souterraine en Région Méditerranéenne

1. **La gestion durable des ressources en eaux souterraines en Méditerranée**
2. **Qualité et recharge des systèmes aquifères en Méditerranée**
3. **Modélisation Numérique : Gestion des aquifères et effet de la recharge sur la qualité des eaux souterraines**

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

*L'expérience Tunisienne en Recharge Artificielle des Nappes (RAN) et la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.*

**Badaoui Imane** (Univ. bechar - Algérie), Mekkaoui A., Bendida Ali.

*Evaluation de la vulnérabilité d'un aquifère en zone aride : comparaison des méthodes appliquées pour la nappe Turonien (Bechar, Sud Ouest algérien)*

**Abla Rihani** (Univ. Batna - Algérie), Menani R.

*Les ressources hydriques dans le massif des Aures- Cas de la vallée de Bouzina (Nappe de l'Eocène-Maestrichtien)*

**Tahar Kebir** (Univ.Moulay Tahar de Saida-Algérie), Baba Ahmed Abderrazak

*Impact environnemental des rejets industriels issus de la société ALZINC alentours des sols agricoles*

**Hamza Jerbi** (INAT - Tunisie), Massuel S., Tarhouni J., Lachaal F., Riaux J., Burtej., Leduc C.

*La nappe de la plaine de Kairouan soumise aux changements globaux : Quels effets sur la ressource?*

**Ahmed Bousmaha** (Univ. Larbi Ben M'Hidi Oum El Bouaghi - Algérie)

*La gestion des ressources en eau en Algérie :Enjeux et stratégies*

**Fadia Gafsi** (Univ. Montpellier - Tunisie)

*Vers une nouvelle gestion de ressource en eau adaptée aux risques climatiques et politiques dans le sahel de Souss Monastir*

**Samia Bounab** (Univ. Amira - Algérie), Bousnoubra K

*Évaluation Quantitative des Eaux Souterraines de la région Annaba el Tarf (nord est Algérien)*

