

JOURNAL INTERNATIONAL

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

ISSN (electronic): 1737-9350

ISSN (printed): 1737-6688

Volume 2 - Numéro 1 – Février 2017

Eau-Société-Climat'2017



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

Caractérisation qualitative et quantitative des ressources en eau

Rédacteur en Chef : Pr Noureddine Gaaloul

Publié par :

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

"وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ"

سورة الأنبياء آية 30

Comité Scientifique International

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

Préface



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

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

Dans le même temps, les changements climatiques devraient avoir un impact massif sur la disponibilité de l'eau en modifiant radicalement les régimes hydrologiques à travers le monde. Si ils ne sont pas traités correctement et en temps opportun, les conflits sur l'eau entre les secteurs, entre les personnes peuvent déclencher des conflits, menacer la sécurité alimentaire et augmenter les migrations. Une gestion responsable de l'eau agricole contribuera de manière importante à la future sécurité mondiale de l'eau. En effet, une gestion responsable est nécessaire dans chacun des secteurs utilisant de l'eau, même s'ils utilisent moins. Les effets attendus des changements climatiques sur le secteur agricole varient selon les régions et ne doivent pas pour autant inquiéter. L'adaptation doit être adoptée comme solution face à ces changements et aux différents problèmes qu'ils vont provoquer. Il faut s'adapter d'une manière progressive et augmenter la capacité d'adaptation par l'usage des technologies, le développement des infrastructures, du capital social, la promotion de la gouvernance, des connaissances et des compétences, outre la gestion des risques liés aux changements climatiques. Ainsi l'agriculture pourrait être modifiée à cause de plusieurs facteurs : les changements des températures, le niveau de l'humidité, des rayonnements ultraviolets, le niveau de CO₂, la présence d'animaux et d'insectes nuisibles ainsi que des maladies, la dégradation du sol et la sécheresse. Parmi ces problèmes figurent aussi la désertification, le surpâturage, la déforestation, la prolongation des périodes de sécheresse et la diminution des périodes de grandes précipitations.

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

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

Les questions suivantes sont proposées à la discussion :

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

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

Sommaire

Caractérisation qualitative et quantitative des ressources en eau	6
Descroix Luc (IRD LMI PATEO, UMR PALOC IRD/MNHN, Sénégal, - France), Richard Lalou, Yasmin Bouaita, Robert Diatte, Pape Y. Ndiaye, Honoré Dacosta, Anastasie Mendy, Raymond Malou, Marie-Jeanne Senghor <i>Salinité et salinisation de la nappe phréatique du centre du bassin arachidier sénégalais.</i>	7
Amina Besselma (Université de Mostaganem - Algérie), Mohamed Abbou, Amina Hamadi, Mohamed Larid <i>Evaluation des efficacités de l'utilisation de l'eau au niveau du périmètre irrigué de la Mina (Algérie, Nord-Ouest)</i>	11
Ben Elkheir Abderrahman (Université Kasdi Merbah, Ouargla - Algérie), Zeddouri Aziez, Hadj-said Samia, Satouh Adel, Taringa Lahcen, Taupin Jean Denis, Leduc Christian <i>Configuration du système aquifère de la région de Tamanrasset (Sud de l'Algérie): application des méthodes géophysique à l'établissement d'un schéma conceptuel.</i>	17
Bentahar kheira (Université des sciences et de la technologie D'Oran Mohamed Boudiaf - Algérie), Yebdri djilali <i>Planification et gestion des ressources en eau</i>	21
Fatah Bouteldjaoui (Ecole Nationale Polytechnique Alger - Algérie), Ahmed. Kettab, Mohamed. Bessenasse, Laïla Oualkacha <i>Apport de l'analyse statistique multi variée de l'hydrogéochimie et de la géostatistique à l'étude des eaux souterraines : cas de la plaine d'ain oussera Algérie</i>	25
Philippe Martin (Université d'Avignon- France) Pierre-Alain Ayrat, Ingrid Canovas, Patricia Cicille, Jean-François Didon-Lescot, Jean-Marc Domergue, Annick Douguédroit, Nadine Grard, Saliou Kamara, Christian Lopez, Sylvie Morardet, Sophie Sauvagnargues <i>HydroPop : une nouvelle façon d'aborder la question du partage de l'eau en situation de basses eaux en France métropolitaine méridionale</i>	29
ElHabiri Sid Ahmed (Université de Tlemcen - Algérie), Didi Mohamed Amine <i>Extraction du mélange de Terbium (III) et Fer (III) par imprégnation de membrane liquide en utilisant D2EHPA / TOPO comme support mobile.</i>	33
Nacira Chabi Tahenni (Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et l'Aménagement du littoral - Algérie), Fouzia Houma Bachari <i>Simulation de la qualité de l'eau de mer de la zone côtière Oranaise par modélisation numérique en combinant avec les données multi-sources satellites.</i>	37
Chidmi Emna (Faculté des Sciences de Tunis - Tunisie), Mounira Zammouri <i>L'application de la loi de Darcy pour le calcul de débit d'alimentation de la nappe de la Djefara par la nappe du Continental Intercalaire.</i>	43
Houria Bendiaf (Université de Tlemcen- Algérie), Omar Abderrahim, Mohamed Amine Didi <i>Etude de l'efficacité d'une nouvelle résine phosphonate dans la sorption de La(III) à partir des solutions aqueuses</i>	47
Mimouni oumria (Université d'Oran 2 Mohamed ben Ahmed – Algérie), Lasgaa Moussa <i>Problématique des eaux potables dans les hautes plaines occidentales (Saida Algérie).</i>	51
Ahmed Salem Mohamed , (Ecole Supérieure Polytechnique de Nouakchott – Mauritanie), C Leduc, C Marlin, MA Sidi-Cheikh, P. Vincent <i>Comportement hydrodynamique et géochimique d'une nappe côtière soumise à des contraintes naturelles et anthropiques sévères. Cas de la nappe de Nouakchott, Mauritanie</i>	56
Soulef Azizi (Université Larbi Ben Me Hidi - Algérie), Tahar Sehili <i>Amélioration de la dégradation photocatalytique de l'isoproturon par addition d'accepteur d'électron en présence d'une petite quantité de bioxyde de titane en solution aqueuse.</i>	61
Abdelaziz Abdallaoui (Université Moulay Ismail - Maroc), Hind Omari, Adil Lammini, Ali Dehbi <i>Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption du phosphore sur les sédiments aquatiques de l'Oued Boufekrane (Maroc)</i>	66
Lamia Mammeri (Université des Frères Mentouri Constantine- Algérie) <i>Effet d'un agent complexant de fer « l'acide citrique » vers le procédé photo-fenton pour le traitement d'eau polluée par l'orange G</i>	72
Hamadi Amina (Université de Mostaganem - Algérie), Larid Mohamed <i>L'eau d'irrigation entre mobilisation et modes d'utilisation agricole : Cas de la wilaya de Mostaganem (Algérie Nord-Ouest).</i>	76
Nadia Machouri (Université Mohammed V, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines) Evaluation agro environnementale des techniques de CES dans la commune de Sehoul (Maroc atlantique)	80



*Caractérisation qualitative et
quantitative des ressources
en eau*

Salinité et salinisation de la nappe phréatique du centre du bassin arachidier sénégalais

Luc Descroix¹, Richard Lalou², Yasmin Bouaita¹, Robert Diatte³, Mamadou Y. Ndiaye³, Honoré Dacosta⁴, Anastasie Mendy⁴, Raymond Malou⁵, Marie-Jeanne Senghor⁶, Laurence Fleury³

¹ IRD, LMI PATEO, UMR PALOC IRD/MNHN, BP

1386, Dakar Hann, Sénégal, luc.descroix@ird.fr, yasmin.bouaita@ird.fr

² IRD, UMR MERIT IRD/U Paris Descartes, 75006 Paris richard.lalou@ird.fr,

³ IRD, UMR LPED IRD/JUM1/JUM2, BP 1386, Dakar Hann, Sénégal, ,

robert.diatte@ird.fr, mamadou-yatoudeme.ndiaye@ird.fr

⁴ UCAD, Dakar, Dept de Géographie, BP 5005, Dakar Fann, Sénégal, honore.dacosta@ucad.edu.sn,

anastasie.mendy@ucad.edu.sn

⁵ UCAD, Dakar, Dept de Géologie, BP 5005, Dakar Fann, Sénégal, raymond.malou@ucad.edu.sn

⁶ LMI PATEO, Gland, Suisse, +221 776553668; mjsenghor@gmail.com

Résumé

Le centre du bassin arachidier du Sénégal, poumon économique rural du pays, est une zone très peuplée, aujourd'hui diversifiée en une polyculture-élevage en cours d'intensification. L'augmentation nécessaire des rendements agricoles afin de compenser une forte croissance démographique passe souvent par une micro-irrigation dépendante de ressources en eau mal connues et a priori peu abondantes. Depuis quelques décennies, les acteurs du monde rural, à commencer par les agriculteurs, se plaignent d'une salinisation de la nappe, dont les premières manifestations auraient été observées durant la grande sécheresse des années 1968-1998. Pour déterminer l'éventuelle présence et extension de la salinité, une campagne de mesures a été effectuée en saison sèche 2016 dans la région de Niakhar (département de Fatick) concernant 744 puits villageois. Les résultats montrent que l'eau de la nappe phréatique, dans une grande partie de la zone de Niakhar, en particulier dans cette ville et ses environs, est trop salée ; une grosse moitié sud-est du territoire de cet arrondissement n'a que des eaux saumâtres dans ses aquifères. L'accès à l'eau douce apparaît comme la principale contrainte au développement d'une agriculture plus intensive et plus diversifiée dans la région

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

Groundwater Salinity and salinisation in the Senegalese "groundnut belt"

Abstract

The Senegalese "groundnut belt" is the earth of rural economy of the country. Its central part is a densely populated area, where the agro-pastoral system is going on intensifying. The increase in crops yield, needed to compensate the strong demographic growth, should be carried out by micro-irrigation, which depends on little and weakly known water resources. For some decades, rural world stakeholders, and firstly croppers, are suffering of the groundwater salinization; the latter possibly appeared during the Great Drought (1968-1995). A measurement campaign was realized in 2016 in the community of Niakhar (Fatick dept, Sine Saloum region) accounting 744 wells documented. This aimed to determine whether the water salinity was to be addressed or not and whether there was a geographic determinism in the salted water distribution. The result is clear: groundwater in a significant part of the community, is salted; a large south-eastern part of the community has only salted groundwater. Fresh Water is nowadays the main constraint to develop agriculture in the Saloum.

Key Words: salinity, Sine Saloum, human factors, climatic factors, groundwater, Senegal

Introduction

Le bassin arachidier a longtemps été le poumon économique du Sénégal ; sa partie centrale, la région du Sine et Saloum, est à présent une zone de polyculture et d'élevage intensifs à la population dense (plus de 200 hab/km²). L'agriculture pluviale domine mais la croissance démographique et la dégradation des terres poussent au développement de cultures irriguées, reposant sur l'exploitation des nappes phréatiques peu profondes. Cependant, l'essor de l'agriculture irriguée, pratiquée en saison sèche, est limité par la forte variabilité du niveau piézométrique et la qualité des eaux souterraines, localement saumâtres, voire carrément salées. Il est important de connaître le volume et la qualité des ressources en eau disponibles pour cette activité de contre saison, sachant que les eaux de surface sont rares hormis des cours d'eau épisodiques et des mares temporaires dont l'évaporation explique la concentration de sels dans les bas-fonds. La région de Niakhar est typique de cet agrosystème de savane parc apparemment pérennisé, mais qui montre des signes d'essoufflement malgré l'arrivée de nouvelles cultures de rente ; clairement le sud de l'arrondissement n'a plus que des eaux de puits trop salées pour permettre l'irrigation, et de nombreux villages ont donc de sérieuses difficultés pour l'approvisionnement en eau potable (AEP). Les tentatives de diversification/intensification des activités rurales se heurtent à ce problème de disponibilité en eau douce. Il est urgent d'œuvrer pour améliorer l'approvisionnement, ce qui passera probablement par des transferts des volumes d'eau non utilisés provenant de la vallée du Sénégal.

1. Description du milieu et de sa problématique

L'arachide a fait un temps la fortune de la colonie du Sénégal ; elle a été imposée par le colonisateur qui a établi une économie de traite et transformé radicalement les sociétés rurales vers l'extraversion et une dépendance chaque fois plus grande.

1.1. Un terroir ancien

Le Sénégal indépendant a conservé le principal agrosystème imposé par les colons. Du fait des subventions longtemps versées aux producteurs, l'arachide a perduré comme facteur de prospérité relative des zones rurales du centre du Sénégal. Avec la fin des subventions lors des PAS (plans d'ajustement structurels) imposés par les institutions issues de Bretton Woods (BM, FMI) et plus tard par l'Union Européenne, au début des années 1980, et dans les années 1990-2010, la baisse progressive du cours de l'arachide et la concurrence de pays producteurs hors zone euro, donc plus compétitifs, le Sénégal est vite passé de son rang de 1^{er} exportateur mondial d'arachide à son 17^{ème} rang, très marginal, actuellement. La filière est déstructurée, les huileries ont presque toutes fermé ; même l'huile d'arachide importée (y compris de France) est moins chère que l'huile produite sur place ; surtout, l'huile d'arachide locale ne peut faire concurrence aux huiles OGM d'Amérique Latine (soja, colza, etc) et plus récemment, à l'huile de palme d'Indonésie (deux fois moins chère que l'huile de palme locale en prix de gros chez les commerçants). La filière arachide ne se maintient que pour les cacahouètes et la distribution de son principal sous-produit : la paille d'arachide, très utilisée dans les villes pour l'engraissement du bétail (ovins surtout) ; les tourteaux aussi sont très recherchés pour l'élevage (volailles).

1.2. En pleine mutation

La partie centrale sud du bassin arachidier avait amorcé sa mutation vers une polyculture-élevage dès avant le déclin de l'arachide. Il constitue un bel exemple de savane parc avec cultures en assolement ; l'apport du fumier grâce au bétail bovin nombreux permet une fertilisation correcte des sols. Surtout, l'intégration de spéculations diverses (pastèque, élevage bovin d'embouche, sésame, etc) et surtout les migrations temporaires ou définitives, expliquent la pérennisation d'un tel agrosystème malgré une population dense, en moyenne plus de 200 hab/km², jusqu'à 400 dans certains secteurs.

2. Les ressources en eau douce

2.1. Indigence de l'eau de surface

Il n'y a pas de cours d'eau pérenne dans cette partie centrale du bassin arachidier. Bien que cette région densément peuplée du Sine et Saloum porte le nom de deux fleuves, l'eau douce y est rare... Les deux fleuves en question partagent un immense estuaire, le delta du Saloum, instauré réserve mondiale de la Biosphère, patrimoine de l'UNESCO. Ce sont deux cours intermittents aux débits faibles, du fait de la basse hydraulicité de leur bassin, pourtant assez étendus. Les précipitations annuelles sont celles du Sahel Sud, comprises entre 500 et 750 mm, mais le relief très plat (figure 1), les altitudes très faibles et la prépondérance de faciès sableux très perméables, rendent les écoulements indigents, même en contexte de paradoxe sahélien. Les seules eaux de surface notoires sont les écoulements qui se produisent lors des événements de type « lignes de grains », qui correspondent aux trois quarts des volumes précipités ; leur intensité maximale dépasse rarement la conductivité hydraulique d'un sol sableux sarclé (100 à 200 mm/h). Cette indigence des écoulements favorise l'intrusion de l'eau de mer. Mais les acteurs du monde rural, en particulier les agriculteurs (pour qui c'est une gêne) et les éleveurs (qui au contraire y voient un avantage) sont unanimes pour signaler un très net accroissement, depuis quelques années, de la taille, du volume et de la durée en eau des mares temporaires qui se forment durant l'hivernage. Cette multiplication des mares est probablement le reflet de la mise en culture des derniers espaces boisés, de la diminution des jachères et de l'héritage de 150 ans de culture de l'arachide qui a pu déstructurer les sols.

2.2. Des nappes de plus en plus salées

La nappe du Continental Terminal est l'aquifère le plus utilisé : il est accessible en tout point de l'arrondissement, jusqu'à des profondeurs de 25 mètres, et donc localement sous le niveau de la mer au nord l'arrondissement. Les puits sont très nombreux, à la mesure de la population importante et des densités relevées. L'inventaire (pas forcément exhaustif) réalisé en 2002 a relevé 400 puits, celui de 2016 en a rajouté 344, mais un grand nombre de ceux de l'inventaire de 2002 n'étaient plus opérants ou utilisés en 2016. L'eau semble être devenue salée durant les années de sécheresse, même si des puits donnaient déjà de l'eau salée auparavant [1, 2].

La figure 1a montre le relief peu vigoureux de cette zone du sud-Sahel. Les « hauteurs » ne dépassent pas 30 m d'altitude, les pentes sont très faibles. La figure 1b indique l'altitude du toit de la nappe du Continental Terminal. On constate que la nappe est presque partout à une altitude très faiblement au dessus du niveau de la mer, voire en dessous ; la profondeur des puits est donc très corrélée à l'altitude. On observe deux petites dépressions piézométriques au nord de la région, avec le toit de la nappe descendant parfois à une quinzaine de mètres en dessous du niveau de la mer.

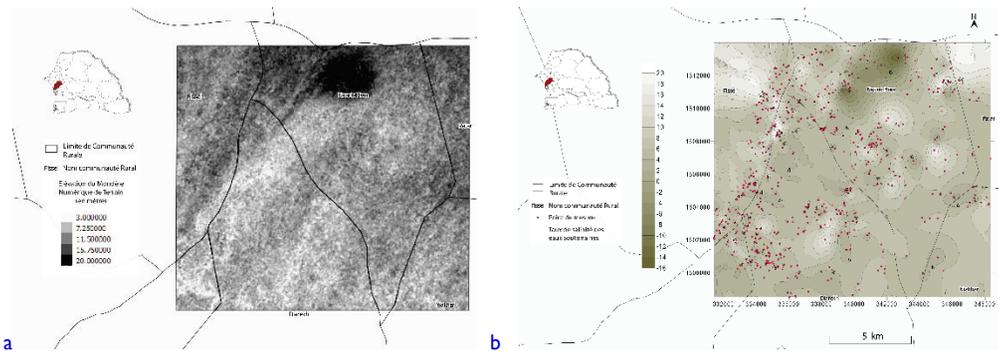


Figure 1. Le relief (1a) et le toit de la nappe phréatique (1b) dans le secteur de Niakhar

De l'avis des acteurs du monde rural, agriculteurs, éleveurs, ménages, chefs de village, administration décentralisée, ONG, etc, la salinité de l'eau de nappe est le paramètre le plus contraignant à l'heure actuelle dans l'arrondissement de Niakhar. On peut donc supposer que le retour à la « normale » du total pluviométrique annuel moyen a dû s'accompagner, même avec quelques années de retard, d'un retour vers une recharge normale de la nappe, et donc d'un retour progressif (mais très lent) vers la situation piézométrique prévalant avant les années de sécheresse. Le retour aux conditions humides prévalant avant 1968 s'est effectué de manière bien plus tardive, mais bien plus franche en Sénégambie qu'au centre du Sahel [3]. Cependant, on ne peut donc plus incriminer le déficit pluviométrique pour expliquer la très forte salinité des eaux profondes observée en 2016 dans la partie sud de l'arrondissement. Comme les puits les plus bas restent pour la plupart au-dessus du niveau de la mer, on ne peut pas non plus incriminer la remontée du niveau océanique comme facteur explicatif. Par contre, comme la salinité est logiquement plus élevée à l'aval et dans les zones les plus basses, situées plus au sud, il est possible que la surexploitation des aquifères par sur-pompage de ces puits, abaisse le niveau phréatique même en restant au-dessus du niveau de la mer. A ces niveaux, cela attire les eaux plus salées par appel au vide ; en tout cas, surtout au Sud Est de l'arrondissement, on observe des situations où l'eau salée (provenant des bras de mer, ou de la sédimentation quaternaire) semble se mélanger à l'eau douce. On s'approcherait des conditions prévalant dans la zone des marais maritimes (surtout des tannes dans le Saloum Nord) [4].

Toujours est-il que cette situation est très préoccupante, certains puits montrant des valeurs de salinité extrêmement haute, rendant l'eau impropre à presque tous les usages, même la lessive ou la toilette.

Bien qu'on manque de référence et de mesures antérieures, il semble que, à l'instar de ce que remarquait Lericollais en 1999 [2], il y ait bien eu une poussée de la salinisation durant la phase de sécheresse. Malgré le retour des pluies, les nappes sont toujours salées. On ne dispose toutefois pas de données historiques pour attester de cette salinisation. La campagne de mesure de 2016 est à considérer comme le T0 d'une évolution qui sera donc palpable désormais. On peut simplement supposer, en s'appuyant sur les dires d'acteurs, que pour l'heure :

- l'eau a toujours été localement au moins saumâtre dans certains secteurs de l'arrondissement (en particulier dans sa partie centrale la plus peuplée) ;
- la salinisation de l'aquifère a fortement progressé durant les années de sécheresse du fait que les prélèvements augmentaient (forte croissance démographique) et que la recharge en eau douce a fortement décru ;
- la fin de l'épisode sec ne semble pas avoir freiné le processus, qui se poursuivrait au point que la moitié sud de l'arrondissement n'a plus que des eaux de nappe bien trop salées pour tout usage agricole ou domestique.

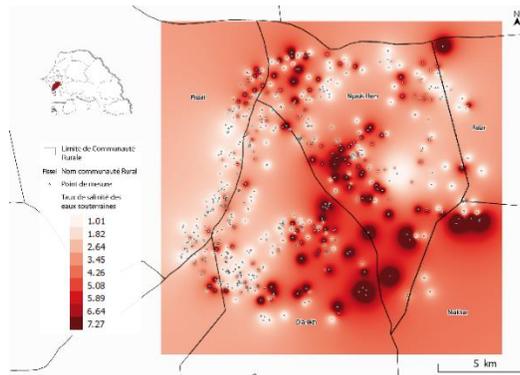


Figure 2. Salinité de la nappe dans le secteur de Niakhar en 2016

Tableau 1. Caractéristiques des puits inventoriés

Date	Population totale	Densité	Nombre de puits	Prof moyenne/ET	CE moyenne/ET	pH moyen/ET
2016	45000	222	744	4,56 +/- 2,98	4,66 +/- 4,42	7,48 +/- 0,61

Conclusion : L'intérêt d'un inventaire et d'un suivi

L'arrondissement de Niakhar fait l'objet d'un suivi démographique et sanitaire de la part de l'IRD depuis 1964. L'accroissement de la population, le très long et très prononcé épisode de sécheresse, ont accentué la très forte demande pour l'eau et accru fortement la vulnérabilité des agrosystèmes. Il est donc primordial de lancer la documentation de l'évolution de la salinité dans un terroir par ailleurs densément peuplé et à la croissance démographique soutenue. Il est en effet indispensable de disposer de données les plus précises possibles de recharge et de consommation, afin de pouvoir fournir aux acteurs du monde rural et aux preneurs de décision, des éléments clairs et décisifs sur :

- la progression éventuelle de la salinité et ses facteurs explicatifs depuis le retour des totaux pluviométriques à leur moyenne 1900-2015 ; le rôle de la surexploitation est en particulier à surveiller de près ; de plus en plus, et eu égard à la proximité de la mer, il faudra aussi prendre en compte l'effet possible de l'élévation du niveau océanique ;
- afin de pérenniser un agrosystème complexe et relativement varié, dans son paysage construit de savane parc, élément primordial en termes de lutte contre le réchauffement climatique, il faut absolument instaurer un système de gestion participatif accepté de tous et visant en premier chef à stopper la salinisation, donc à faire redescendre la consommation en dessous de la recharge naturelle de la nappe.

Les premières mesures réalisées en 2016 permettent de constater une salinité importante et très répandue des eaux phréatiques. Elles ont permis de constituer un point de départ pour établir désormais des comparaisons et évolutions. Elles ne permettent pas de confirmer pour l'heure si, comme le suggèrent les dires d'acteur, il y a salinisation, ou si, plus simplement, la croissance démographique fait que la population concernée par cette salinité augmente fortement. On ne peut encore moins conclure qu'une éventuelle salinisation serait due à une surexploitation de la nappe phréatique.

Références

[1] P. Pélissier. Les paysans du Sénégal. les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. Saint-Yrieix, Fabrègue : 1966, 939 p

[2] A. Lericollais. Paysans sereer ; dynamiques agraires et mobilités au Sénégal. Ed IRD, coll. A travers champs, 1999, 681 p.

[3] L. Descroix, A. Diongue-Niang, G. Panthou, A. Bodian, T. Sané, H. Dacosta, M. Malam Abdou, J-P. Vandervaere, G. Quantin. Evolution récente de la mousson en Afrique de l'Ouest à travers deux fenêtres (Sénégalie et Bassin du Niger Moyen). *Climatologie*, 12 (2015) 25-43.

[4] M-J. Senghor. Contribution à l'étude de la salinisation des eaux souterraines de la zone côtière du Sénégal : mémoire de master, université Senghor francophone d'Alexandrie, 2017, 57 p

Évaluation des efficacités de l'utilisation de l'eau au niveau du périmètre irrigué de la Mina (Algérie, Nord-Ouest)

Amina Besselma, Mohamed Abbou, Amina Hamadi & Mohamed Larid

Labo: Biodiversité, Conservation de l'eau et des sols. Université de Mostaganem, Algérie
E-mail. larisid@yahoo.fr

Résumé :

L'étroite association entre l'eau et la sécurité alimentaire fait de l'agriculture une première utilisatrice non économe de l'eau disponible dont la demande tend à dépasser les ressources durablement mobilisables. Sous un climat semi aride, le périmètre irrigué de la Mina (Ouest-Algérie) se retrouve avec des ressources en eau limitées, vulnérables et inégalement réparties. L'objectif de notre travail est d'estimer l'efficacité de l'utilisation de l'eau au niveau de ce périmètre irrigué. A cet effet, la détermination à partir de l'évapotranspiration de référence et le coefficient cultural, des besoins en eau des cultures, des besoins nets d'irrigation de chaque groupe de cultures et de l'efficacité du périmètre irrigué de la Mina, nous a permis d'apprécier les pertes d'eau occasionnées par les différents systèmes d'irrigation pratiqués. La gestion rationnelle et durable de l'Eau devient un enjeu primordial.

Mots-clés : Eau, périmètre irrigué, Mina, semi aride, efficacités, gestion rationnelle, durable.

Assessment of the efficiency of water use at the irrigated perimeter of the Mina (North-West, Algeria)

Abstract

The close association between water and food security makes agriculture a first non-economical user of available water (65%) whose demand tends to surpass resources that can durably be mobilized. Under a semi-arid climate, The irrigated perimeter of the Mina (West of Algeria) is found with limited water resources, vulnerable and unevenly distributed. The objective of our work is to estimate the efficiency of water use at this irrigated perimeter. For this purpose, the determination from the reference evapotranspiration and the cultural coefficient, of crop water needs, of the net irrigation needs of each crop group and the efficiency of the irrigated perimeter of the Mina, has allowed us to appreciate the losses of water caused by the different irrigation systems practiced. The rational and sustainable management of this "Water" becomes an primordial issue.

Key Words: Water, irrigated perimeter, Mina, semi-arid, efficiency, rational management, sustainable.

Introduction

L'irrigation qui utilise actuellement près de 65 % des ressources en eau disponibles, continuera à l'avenir à être le secteur le plus grand consommateur d'eau. Les cultures irriguées seront donc appelées à produire davantage avec moins d'eau. A cet effet, il est indispensable d'améliorer les performances de l'agriculture irriguée pour assurer la sécurité alimentaire et éviter les pénuries d'eau. Jusqu'à l'an 2000, la quasi-totalité des surfaces irriguées l'étaient par les techniques d'irrigation par gravité, à la raie ou la seguia, connue pour leur faible efficacité pour des raisons à la fois techniques, organisationnelles et sociales. La commission méditerranéenne pour le développement durable a estimé ces pertes supérieures à 50% dans de nombreux pays, tant lors de l'acheminement de l'eau que du fait de l'usage de techniques d'irrigation inefficaces [1]. L'ampleur de ces gaspillages ouvre la porte à une nouvelle culture de l'eau où il s'agit moins de démultiplier la ressource, que de gérer au mieux celle déjà mobilisée. Des possibilités théoriques d'économie existent à tous les niveaux [1]. Ce travail a pour objectif d'estimer la valeur de l'efficacité au niveau du périmètre d'irrigation de la Mina situé dans le bassin versant du Chelif (Nord- Ouest algérien) à partir des données obtenues auprès des différentes institutions du secteur (DHW, ANRH, ONID) et des paysans.

I. Matériels et méthodes

Après un bref aperçu sur l'irrigation en Algérie en général et le périmètre irrigué de la Mina en particulier, une description de la zone d'étude s'est avérée nécessaire afin d'évaluer son efficacité globale. La détermination à partir de l'évapotranspiration de référence (ET_o), le coefficient cultural (K_c) des besoins en eau de cultures, des besoins nets d'irrigation de chaque groupe de culture et de l'efficacité du périmètre irrigué, nous a permis d'apprécier les pertes d'eau occasionnées par différents systèmes d'irrigation pratiqués [2].

I.1. Besoins en eau des cultures

Estimée par la quantité d'eau évapotranspirée par la culture, les besoins en eau de celle-ci sont généralement appelés aussi évapotranspiration de la culture (ET_c) qui correspond au produit de l'ET_o [3 & 4] par un coefficient cultural K_c (adimensionnel). Ainsi, pour le calcul des besoins en eau, il a été préférable de classer les diverses cultures dans des ensembles homogènes (les agrumes, légumes secs, arbres fruitiers à pépins, arbres fruitiers à noyaux et maraîchage). Au lieu de les calculer pour chaque culture, il a été plus simple de les calculer pour chacun de ces groupes de cultures. La méthode et les formules appliquées sont celles de Allen et al. [5] et Doorenbos & Pruitt [6]. L'évapotranspiration de culture (ET_c) a été établie selon la relation (1), qui associe l'effet du climat sur l'évolution de la culture par le biais de l'évapotranspiration de la culture de référence (ET_o), et l'effet des caractéristiques culturales sur les besoins en eau des cultures par l'intégration du coefficient cultural

$$(K_c) : ET_c = K_c * ET_o \text{ (mm)} \quad (1)$$

L'adoption de l'évapotranspiration de référence a facilité l'utilisation des coefficients culturaux pour l'estimation fiable de l'ET des diverses cultures dans de nouvelles zones géographiques. L'utilisation de l'approche « coefficient cultural - ET_o » a été extrêmement utile pour éliminer la nécessité de calibrer une équation d'ET particulière à chaque culture et à chaque stade cultural.

I.1.1. Pluie efficace

La pluie efficace (P_e) représente la fraction des précipitations qui est effectivement utilisée par la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface et par percolation profonde. Pour le calcul des précipitations efficaces, différentes méthodes ont ainsi été développées, chacune prenant en compte le climat de la région où doit s'effectuer l'étude. La formule choisie propose un pourcentage fixe :

$$P_e = A * P_t \text{ où } P_e < P_t \text{ et } A < 1 \quad (2)$$

Dans laquelle A est une fraction donnée par l'utilisateur. En général, on prend A = 0.8 [6].

I.1.2. Besoins nets d'irrigation

Les besoins nets d'irrigation sont calculés à partir du bilan hydrique pour toute la saison végétative :

$$BNI = BEC - (10 * P_e * S) \quad (3)$$

où :

BNI : besoins nets d'irrigation en m³ ; BEC : besoins en eau de la culture en m³ ; P_e : pluies efficace en mm et S : surface cultivée en ha.

I.2. Coefficient cultural

Le coefficient cultural « K_c » correspond au rapport entre l'évapotranspiration potentielle maximale de la culture et l'évapotranspiration potentielle de référence est également maximale :

$$K_c = ETM / ET_o = \max(ETP_c) / ET_o \quad (4)$$

Il varie le plus souvent entre 0,4 et 1,4 en fonction de l'espèce cultivée, du stade de développement et du niveau de croissance (fig. 01) c'est à dire essentiellement avec les caractéristiques propres de la culture, et seulement peu avec le climat. Cela permet le transfert de valeurs standard de Kc d'un endroit à l'autre entre zones climatiques. Les coefficients culturaux sont déterminés à l'échelle décadaire pour les différents stades du développement à partir d'un graphique associé à chaque type de culture (06 groupes). La valeur moyenne du coefficient cultural pendant la phase initiale est déterminée en fonction du niveau moyen de l'évapotranspiration de référence ET0 (pendant la phase initiale), et de la fréquence de l'irrigation (10 jours), selon la méthodologie de Doorenbos & Pruitt [6]. On utilise une procédure simple pour construire la courbe Kc sur l'ensemble de la période de croissance. Cette procédure a été présentée initialement par Doorenbos et Pruitt [6]. Pour le calcul des besoins en eau des cultures, on identifie trois valeurs principales des coefficients culturaux : Kc ini pour la phase initiale, Kc mid pour la phase mi saison et Kc end relative au moment de la récolte. Avec ces trois valeurs spécifiques du coefficient cultural, on procède à leur conversion en coefficients culturaux mensuels. La plupart des valeurs de Kc sont adoptées des bulletins FAO-24 [6] et FAO-33 [7]. Selon les durées des cycles de la culture et le Kc correspondant, les coefficients culturaux de chaque catégorie de cultures sont calculés pour chaque catégorie de culture.

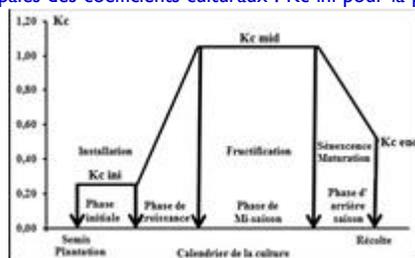


Figure 01. Courbe des Kc et définition des phases

1.3. Efficacités

Les différentes efficacités de transport, de distribution et globale sont estimées à partir du volume d'eau mis en tête de réseau (MTR), le volume lâché (Vo), le volume d'eau distribué (Vd) et les besoins nets d'irrigation (BNI), soit :

$$Et = MTR / Vo \quad (5)$$

$$Ed = Vd / MTR \quad (6)$$

$$Eg = BNI / Vo \quad (7)$$

2. Résultats et discussions

2.1. Périmètre irrigué de la Mina

2.1.1. Historique

Créé en 1943 et occupant initialement une superficie de 20000 ha environ, le périmètre de la Mina et ses extensions se trouvent dans le bassin inférieur de l'oued Chelif. Il était irrigué par l'oued Mina à travers un réseau d'irrigation qui recevait des lâchés du barrage Bakhadda. Pour répondre aux nouveaux besoins en eau, un autre barrage a été mis en service en 1978 (Sidi M'Hamed Benaouda : 232 Mm³) construit sur l'oued Mina à l'aval du premier barrage.

2.1.2. Milieu physique

Séparée de la plaine de Habra-Macta par le bombement de Yellel, elle est circonscrite par les avant-monts grés-marneux des chaînes atlasiques moyennes du Dahra au Nord, des monts de l'Ouarsenis au Sud-Est., de ceux de Béni Chougrane au Sud-Ouest. et par les monts de Bel Hacel à l'Ouest (fig. 02). Abrisée de l'influence rafraichissante et humide de la mer par la barrière massive du Dahra, au Nord, la plaine subit un climat continental assez voisin de celui de la vallée du Chélif, plus excessif que celui des plaines occidentales du Sig et de l'Habra, ouvertes au Nord. Les caractéristiques climatiques essentielles se résument en une faible pluviosité annuelle (325 mm), irrégulière d'une année à l'autre, une sécheresse estivale prolongée, de fortes gelées d'hiver (min -5°C), de grosses chaleurs d'été (maxi 48°C) et une active évaporation due à la fois à la température et aux vents desséchants de l'été (fig. 03 & 04). L'indice d'aridité est comparable à celui des hautes plaines steppiques. Il s'agit d'une région nettement semi-aride. Le milieu géographique doit son originalité à la « combinaison » d'un relief en cuvette de 60 m d'altitude moyenne, d'un climat à sécheresse saisonnière accentuée, d'eaux courantes peu abondantes, de terres fortes, parfois salées, d'une herbe broussailleuse d'halophytes et jujubier sauvage (Zizyphus lotus). Les conditions naturelles sont donc peu favorables, et la mise en valeur agricole exige impérieusement de suppléer à l'insuffisance des précipitations.

2.1.3. Ressources hydriques

La capacité théorique du barrage était estimée à 240 hm³ avec un volume régularisable de 112 hm³. Les derniers levés bathymétriques effectués en 2003 par l'ANB (Agence Nationale des Barrages), ont montré que le nouveau barrage connaît un problème d'envasement de 30% réduisant ainsi sa capacité de stockage à 159 hm³ et son volume régularisable à 80 hm³. A la suite des pénuries d'eau répétées dans la zone du périmètre entre 2000 et 2007, et pour réduire l'ampleur du déficit hydrique, 10 forages ont été réalisés au sein du périmètre par la DHW (Direction de l'Hydraulique de Wilaya) dans le cadre du programme d'urgence 2006. Après trois années d'exploitation, seuls trois forages sont exploités par l'unité ; les sept autres ne le peuvent être économiquement vu le faible débit de certains et aux pannes répétées suite à l'agressivité des eaux souterraines du périmètre pour d'autres. Leur capacité théorique annuelle est de l'ordre de 1500 hm³.

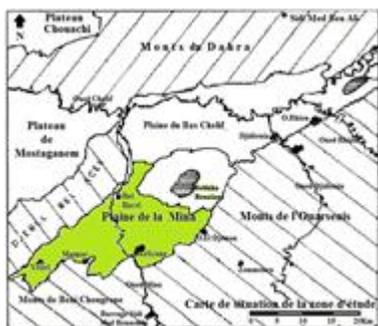


Figure 02. Situation géographique de la zone d'étude

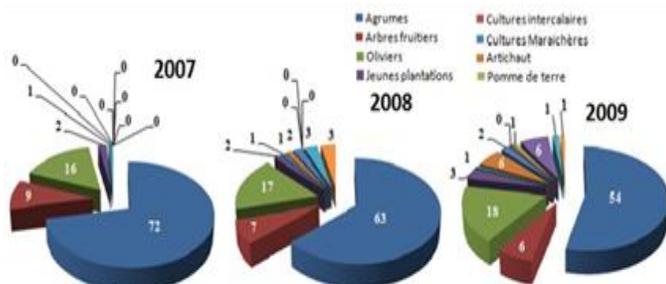
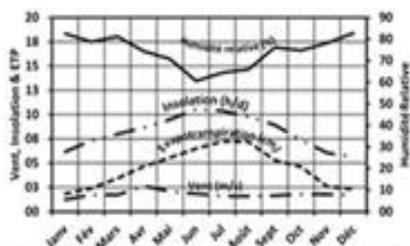


Figure 05. Evolution des cultures irriguées (%)



Figures 03. Données climatiques de la ZE (1953 à 2010)

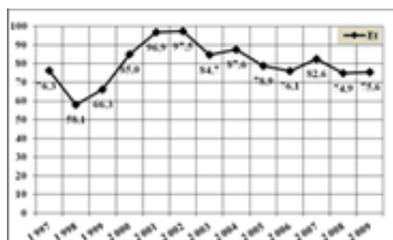
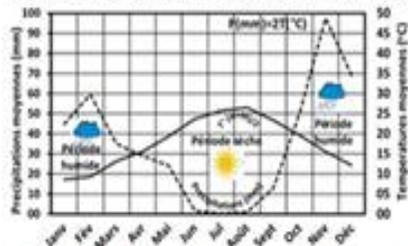


Figure 06. Efficacité de transport



Figures 04. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la zone d'étude (1953 à 2010)

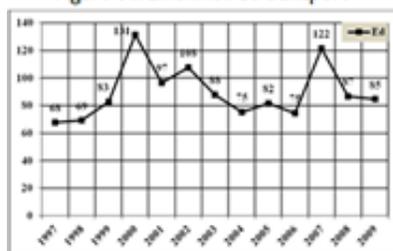


Figure 07. Efficacité de distribution

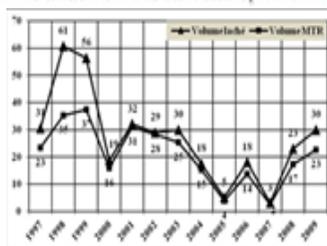


Figure 08. Volume lâché et volume MTR

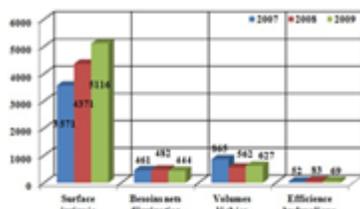


Figure 10. Estimation des paramètres de calcul de l'EG

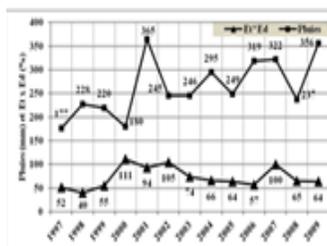


Figure 09. Relation entre pluviométrie et E1

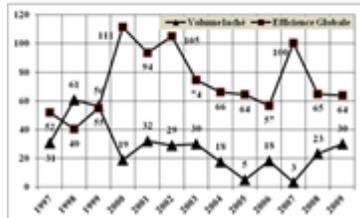


Figure 11. Relation entre volumes lâchés et E2

2.1.4. Superficies

La superficie classée du périmètre irrigué de la Mina est actuellement, après réalisation du projet « réaménagement et extension du périmètre » estimée à 180 275 ha. Moins de 10% sont considérées comme équipés et irrigables (17235 ha). Variant d'une année à une autre, la superficie irriguée est intimement liée au volume d'eau alloué annuellement à l'irrigation qui dépend des précipitations enregistrées et de la réserve en eau retenue au niveau du barrage S.M.Benaouda. Cela influe énormément sur les plans de culture des paysans. Durant ces dernières années, elle a évolué à raison de 4000 ha/an avec un quota d'eau alloué dépassant parfois les 30 hm³ permettant aux agriculteurs du périmètre de pratiquer les cultures annuelles irriguées et d'installer de nouvelles plantations surtout d'olivier (environ 200 ha/an) et d'agrumes (20 ha/an). D'où une évolution croissante des cultures irriguées et de l'occupation des terres se traduisant par une plus grande diversité des cultures (fig. 05).

3.1. Efficacités de l'irrigation

L'amélioration de l'efficacité de l'irrigation est un processus lent et difficile qui dépend essentiellement de l'ampleur de la pénurie d'eau à l'échelle locale, peut être coûteux et exige de la volonté, du savoir-faire et de l'initiative à différents niveaux. Quand l'efficacité avoisine l'unité, la livraison du volume d'eau est sans perte au niveau de la parcelle et est considérée comme efficace. Par contre, si le programme d'irrigation est jugé efficace à l'aide de cet indicateur, on n'a aucune information sur une éventuelle sous livraison. Un apport en eau insuffisant par rapport au besoin en eau de la culture est alors aussi tenu comme efficace. Il est indispensable alors d'examiner l'Adéquation et l'Efficacité en même temps.

3.2. Efficacité de transport et de distribution (2007-2009)

On peut y noter les faibles efficacités de transport enregistrées au niveau de périmètre en 2001 et 2002 représentant plus de 95 % des superficies irriguées, un gain moyen de 5 %, et entre 2003 et 2004 plus de 85 %, un gain moyen de 15 % (fig. 06). Le rendement du réseau de distribution est le rapport en pourcentage entre le volume distribué et le volume d'eau d'irrigation amené en tête de réseau (MTR). Le volume distribué en 2007 a atteint 3,012 m³ avec 2,47 m³ en volume MTR et en 2000, il a atteint 20,89 hm³ de volume distribué avec 15,93 hm³ de volume MTR constitué par la consommation des bouches d'incendies, les dégrèvements, le rinçage et la vidange des ouvrages de distribution. Le rendement à l'échelle de la distribution en 2007 est de l'ordre de 121,57 % alors qu'il était en 2000 de 131 % (fig. 07) d'où l'on constate une nette régression.

3.3. Volumes lâchés et volumes mis en tête de réseau

Les volumes morts au niveau des ouvrages (bassins, canaux et siphons) constituent des pertes considérables après chaque coupure de lâché répétée au cours de l'irrigation (fig. 08). Ces interruptions de lâché sont souvent forcées suite à la faible demande en eau des usagers et parfois aux cassures des conduites. D'où, les pertes sont généralement dues:

- Aux fuites d'eau importantes au niveau des passages sous remblais des adducteurs à cause de la rupture des joints suite aux affaissements et qui sont estimées à un débit moyen de 60 l/s. Des fuites d'eau se répètent à chaque campagne au niveau des conduites d'amenée des canaux, ainsi qu'au niveau des ouvrages des sorties. A cet effet, il faut signaler que ces tronçons de canaux de passage sur remblais ainsi que ces conduites souterraines imposent une réfection totale sur toutes leurs longueurs ; ce qui demande de gros moyens que l'unité à elle seule ne peut prendre en charge vu aussi leur degré de dégradation.
- Au pompage illicite qui constitue aussi des pertes plus contraignantes malgré tous les efforts déployés en moyens humains et matériels pour parer à ce problème. Des équipes de contrôle de nuit et de jour composées d'aiguadiers sont constituées au cours de chaque campagne pour lutter contre ce fléau.
- La tarification de l'eau d'irrigation est dérisoire ce qui encourage le gaspillage.

3.4. Relation entre efficacité hydraulique - pluies

Généralement, l'efficacité doit s'améliorer lorsque les précipitations sont faibles. Cette tendance n'est pas retrouvée au niveau de ce périmètre et l'effet contraire est remarqué entre les années 1997 et 1999 durant lesquelles pour une précipitation plus faible, on a des efficacités qui ne dépassent guère les 50 % (fig. 09).

3.5. L'efficacité globale hydraulique entre 2007 et 2009

La figure 10 donne les superficies, les besoins nets d'irrigation, en relation avec les volumes lâchés et l'efficacité globale. La surface irriguée s'améliore avec les années, l'irrigation dépend des précipitations enregistrées, cette situation a permis de pratiquer plus de cultures. Les besoins nets d'irrigation des cultures et les volumes lâchés sont presque les mêmes durant les trois années prises en considération. On peut y noter une faible efficacité hydraulique en 2008 qui représente 83 % de la superficie irriguée, un gain moyen de 20 %, et entre 2007 et 2009, une efficacité de 52 et 69 % représente un gain moyen plus d'environ 30 % (fig. 11). Par contre, la figure 10 montre que l'efficacité est inversement proportionnelle aux volumes lâchés ce qui veut dire que, plus les volumes lâchés sont importants et plus les pertes augmentent.

3. Conclusion

L'objectif de ce travail était de proposer une méthodologie et des procédures d'estimation de l'efficience productive de l'eau à partir des données de terrain disponibles sous différents systèmes de culture dans le périmètre irrigué de la Mina. Il a été noté qu'en termes d'efficience de l'eau, et au sein du périmètre, entre secteur d'irrigation et d'une catégorie d'exploitation agricole à l'autre, un plan d'action est nécessaire pour le développement accru de l'hydraulique agricole et la mise en place de réseaux modernes d'irrigation pour l'économie de l'eau et la multiplication des rendements. Pour les différents modes d'irrigation, les efficacités globales hydrauliques sont actuellement de 50 et 80% [10]. Des gains énormes sont donc possibles à ce niveau avec un effort de transfert de technologie et de sensibilisation des agriculteurs. Un compromis doit être trouvé en matière d'assolement entre les cultures vivrières de première nécessité et les cultures de rente qui valorisent mieux l'eau [11]. L'expérience de la Mina est très édifiante dans ce sens. Le défi de l'avenir pour le périmètre irrigué de la Mina sera, inévitablement, le développement de ses capacités à préserver et à valoriser ses faibles ressources beaucoup plus que de rechercher d'en créer de nouvelles. Si l'usage est agricole, cette ressource correspond à la notion d'eau verte [12]. Dans cette perspective future de pénuries aggravées par l'apparition plus fréquente des épisodes de sécheresse d'une part et des changements climatiques d'autre part [13], la gestion de l'eau devra intégrer de plus en plus les aspects relatifs à l'amélioration du fonctionnement des infrastructures hydrauliques et de maîtriser les technologies adaptées afin d'optimiser l'utilisation des ressources existantes. Outre l'amélioration directe de l'efficacité technique de l'utilisation de l'eau en irrigation [11], la création de nouveaux périmètres d'irrigation mérite d'être examinée avec plus de rigueur dans le cadre d'une stratégie macro économique. Le développement de l'économie de l'eau au niveau national doit en outre bénéficier d'actions tout azimut [15] et en particulier adapter la tarification de l'eau agricole aux réalités économiques actuelles.

Références

- [1] Dugot P. Quelles solutions pour la crise de l'eau autour de la Méditerranée ? Confluences Méditerranée, (2006) 3 n°58, pp. 153-165.
- [2] P. Gavilán, I.J. Lorite, S. Tornero, J. BerengenaWright J. L. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. *Agricultural Water Management*, Volume 81, Issue 3, 24 March 2006, Pages 257-281.
- [3] Allen R.G., Pruitt W.O., Businger J.A., Fritschen L.J., Jensen ME. & Quinn FH. Evaporation and transpiration. Chapter 4. In : wootton et al. (ED), *ASCE Handbook of Hydrology*, ASCE, News York. (1998) pp. 125-252.
- [4] Doorenbos J. & Pruitt W.O. Les besoins en eau des cultures. *Bull. FAO d'irrigation et de drainage*, Rome. (1986) n°24, 198 p.
- [5] Allen R. G., Pereira L. S., Raes D. & Smith M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. *FAO irrigation and drainage*. (1998) paper 56. 300p.
- [6] Doorenbos J. & Kassam AH. « Réponse des rendements à l'Eau ». *Bull FAO Irrig. et Drain.* (1987) 33 p.
- [7] Guemraoui M. & Chabaca M.N. Gestion des grands périmètres d'irrigation : l'expérience algérienne. *Actes du séminaire Euro-Méditerranéen*, Sousse, Tunisie. (nov. 2005).
- [8] Messahel M., Benhafid M.S. & Ouled Hocine M.C. Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie. *Options méditerranéennes*, Série B, n°52. (2003).
- [9] Blinda M. & Thivet G. Améliorer l'efficience d'utilisation de l'eau pour faire face aux crises et pénuries d'eau en Méditerranée, Note de synthèse. Valbonne: Plan Bleu. (2007).
- [10] GWP (Global Water Partnership). *Integrated Water Resources Management*, TAC Background. (2000) Paper n° 4, 67 p.
- [11] Giorgi F. Le changement climatique en Méditerranée. 12ème réunion de la Commission Méditerranéenne de Développement Durable, Istanbul. (2007) 30-31 mai. Eng. 108(2) : 57-74.
- [12] Blinda M. & Thivet G. Ressources et demandes en eau en Méditerranée, situation et perspectives, *Sécheresse*. (2009) vol. 20, n° 1.
- [13] Jensen M.E., Burman, R.D. & Allen, R.G. *Evapotranspiration and water requirements*. ASCE Manual 70, New York, USA, (1990) 332 pp
- [14] Margat J. *Plan Bleu. L'eau des Méditerranéens : Situation et perspectives*. Collection Prospective. Paris : Le Harmattan. (2008).

Configuration du système aquifère de la région de Tamanrasset (Sud de l'Algérie) : application des méthodes géophysique à l'établissement d'un schéma conceptuel

Abderrahman Ben Elkheir¹, Aziez Zeddouri², Samia Hadj-Said³, Adel Satouh⁴, Jean-Denis Taupin⁵, Christian Leduc⁶, Nicolas Patris⁷

^{1,2,3} Laboratoire des Réservoirs Souterrains pétroliers, gaziers et aquifères. Université Kasdi Merbah, BP 511 Ouargla 30000, Algérie. hadjsaidsamia@gmail.com

⁴ Laboratoire de Géologie du Sahara. Université Kasdi Merbah, BP 511 Ouargla 30000, Algérie. sadel2013@yahoo.fr

^{5,7} UMR HydroSciences (IRD, CNRS, UM), Montpellier, France. taupin@msem.univ-montp2.fr

⁶ IRD (Institut de Recherche pour le Développement). UMR G-EAU, BP 5095, 34196 Montpellier cedex 5, France. Christian.Leduc@ird.fr

Résumé

La problématique de l'eau au Sahara algérien ne date pas d'aujourd'hui : ressources en eau de surface naturellement faibles et provenant exclusivement des crues temporaires et irrégulières des oueds, aquifères parfois restreints à de petits corridors alluviaux dont la structure et la géométrie sont mal connues, rapide développement démographique et économique. La région de Tamanrasset, autour de la grande ville de l'extrême Sud de l'Algérie, s'approvisionne en eau dont l'origine est exclusivement souterraine. Les nappes d'inféro-flux, très sollicitées, à cause de leur facilité d'accès et de leur bonne qualité, sont toutefois très fragiles. Leur recharge est en effet assurée par des pluies occasionnelles ne dépassant pas 85 mm/an sur la partie la plus haute (2700m). Afin de mieux gérer ces ressources, une bonne connaissance de l'aquifère est indispensable. L'objectif de ce travail est de reconstituer la structure de l'aquifère en croisant plusieurs outils géologiques et géophysiques. Le contraste important entre les résistivités électriques du socle d'une part et des alluvions d'autre part, nous a incités à employer la tomographie électrique. Cinq profils de tomographie électrique ont été réalisés dans les cuvettes alluvionnaires sur le tronçon allant de la ville jusqu'à une distance de 17 km vers le Nord. L'interprétation des résultats a été obtenue par inversion par le logiciel RES2DINV. La synthèse de ces données a permis d'établir un modèle lithologique du système aquifère. Ce dernier est composé principalement d'une couche alluvionnaire d'une épaisseur de 25 m en moyenne surmontant une couche d'altérite d'une quinzaine de mètres d'épaisseur en moyenne, elle-même reposant sur un socle cristallin imperméable.

Mots clés : aquifère, géophysique, modèle, inféro-flux, zone aride

Configuration of the aquifer system of the Tamanrasset region (Southern Algeria): application of geophysical methods for establishing a conceptual scheme

Abstract

The problem of water in the Algerian Sahara does not date from today: Naturally poor surface water resources, exclusively from temporary and irregular floods of wadis, aquifers sometimes restricted to small alluvial corridors with often not well known structure and geometry, rapid demographic and economic development. The region of Tamanrasset, around one of the big cities of the extreme south of Algeria, is supplied with water whose origin is exclusively underground. However, because of their ease of access and good quality, the alluvial aquifer are very solicit, but they are very vulnerable. Their recharge is in fact ensured by occasional rains not exceeding 85 mm / year on the highest part (2700m). In order to better manage these resources, a good knowledge of the aquifer is essential. The aim of this work is to reconstruct the structure of the aquifer using several geological and geophysical tools. The electrical resistivity contrast between the base and alluvium prompted us to use electrical tomography. Five ERT profiles has been carried out in the alluvial basins on the stretch since the city until a distance of 17 km to the north. ERT data were inverted with RES2DINV software. The synthesis of these data made it possible to establish a lithological model of the aquifer system. The latter consists mainly of an alluvial layer with an average thickness of 25 m, surmounting a layer of alterite about fifteen meters thick on the average, itself resting on an impermeable crystalline basement

Key Words: aquifer, geophysics, model, underflow, arid zone

Introduction

La région de Tamanrasset qui compte 205 000 habitants (2010) connaît une véritable situation de pénurie en eau. Elle est située à 2000 km au Sud-Est d'Alger et présente à l'instar du reste du Hoggar un climat continental sec. Cette ville, réputée pour son tourisme et ses activités commerciales, connaît aussi une activité agricole peu développée. Les programmes de mise en valeur de parcelles agricoles se heurtent à l'insuffisance des ressources en eau. Lors des rares crues des principaux oueds de la région, des quantités considérables d'eau s'infiltrent dans le sous-sol. Ces ressources, dites d'inféro-flux, auxquelles s'ajoutent d'autres aquifères moins importants dans les formations volcaniques et métamorphiques sont encore mal connues. Le transfert d'eau à partir du champ de captage de la nappe du Continental Intercalaire d'Ain Saleh s'inscrit dans les efforts de l'état pour palier ce problème de déficit en eau. Malgré ces quantités considérables mobilisées, les nappes d'inféro-flux demeurent très sollicitées par la population.

La reconnaissance de ces aquifères est une étape indispensable pour une meilleure gestion des ressources en eau. Pour cela, il est judicieux de développer une démarche multidisciplinaire qui intègre la géologie, la géophysique, l'hydrodynamique, l'hydrochimie et la modélisation numérique. En particulier, la tomographie électrique s'impose comme un moyen efficace de prospection : la mesure de la résistivité électrique peut caractériser rapidement et économiquement l'emplacement, la profondeur et la résistivité des formations souterraines [1].

La présente étude a pour but de coupler les outils de la géomatique avec les résultats de la tomographie électrique pour créer un schéma conceptuel à travers l'identification et la caractérisation de la géométrie et la structure du réservoir. On peut en attendre une meilleure compréhension du fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère.

I. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Tamanrasset, située à l'extrême Sud du pays, est limitée par les wilayas de Ghardaïa au Nord, Ouargla au Nord-Est, Illizi à l'Est, Adrar à l'Ouest, et aussi par le Mali au Sud-Ouest et le Niger au Sud-Est. Elle s'étend sur une superficie de 619 360 km².

Le bassin versant de l'oued Tamanrasset fait partie du Hoggar Central et s'étend sur une superficie d'environ 42 000 km². La zone d'étude (Figure 1) est la partie du bassin située en amont de l'agglomération de Tamanrasset, soit environ 500 km² dont la plus grande surface est comprise entre 1300 et 1500 m d'altitude.

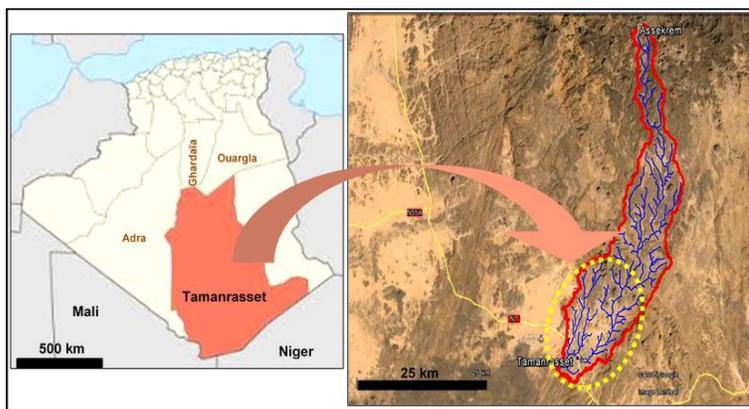


Figure 1. Carte de situation géographique.

L'amont du bassin est formé de plateaux basaltiques (vers l'Assekrem à 2700 m) et à l'aval par des granites sur une vingtaine de kilomètres le long de l'oued Tamanrasset.

L'oued Tamanrasset a creusé son lit dans un substratum composé de granite souvent diaclasé, de gneiss et de micaschiste. L'altération transforme les gneiss et micaschistes anté-cambriens du substratum en formation meuble, présentant à la fois une perméabilité d'interstices et une perméabilité de fissures (diaclasses et failles).

On peut schématiser l'altération des roches du socle (gneiss et micaschistes) de la façon suivante :

- Altération argileuse des minéraux (feldspath, mica) de la roche mère
- Formation des arènes plus ou moins argileuses suivant le degré d'altération de la roche mère.
- Elimination de tous les constituants minéraux plus ou moins solubles. Restent les grains de quartz (non altérable) qui donnent un sable.

Ainsi, on distingue deux ensembles lithologiques et structuraux : les formations sédimentaires représentées par les alluvions d'une part, les terrains magmatiques et métamorphiques formant le socle d'autre part.

2. Méthodologie

En vue d'une meilleure compréhension du mécanisme de transfert de l'eau à travers les différentes unités qui constituent le système d'inféro-flux, nous avons entrepris la démarche suivante : une étude topographique pour cerner la répartition spatiale des pentes et la délimitation exacte des alluvions en utilisant des images satellitaires (scènes Landsat 8), une campagne de tomographie électrique ayant pour but la description de la structure des cuvettes alluvionnaires, la ré-interprétation des logs lithologiques. Cette étude présente les résultats de la tomographie électrique et le modèle lithostructural de la vallée de l'oued Tamanrasset. Tous ces éléments serviront par la suite comme base pour créer un modèle numérique des écoulements souterrains.

2.1. Campagne de tomographie électrique

Une campagne de tomographie électrique a été entreprise en Août 2016 avec un résistivimètre ABEM Terrameter LS. Cinq profils perpendiculaires au lit de l'oued avec une longueur de 320 m ont été effectués selon les dispositifs de Wenner, dipôle-dipôle et Schlumberger. Le pas d'espacement constant entre les électrodes est de 5 m, pour atteindre une profondeur d'investigation théorique de l'ordre de 60 m. Ces profils ont été répartis sur le cours de l'oued en fonction de l'élargissement du lit de l'oued, de l'importance du remplissage alluvial et du contexte géologique.

Les données de résistivité apparente ont été inversées avec le logiciel RES2DINV [2], [3], ce qui permet de présenter les résultats sous forme de coupes en profondeurs réelles et résistivités vraies. Après une suppression des valeurs aberrantes, on obtient un modèle multicouche ayant des caractéristiques électriques s'approchant au mieux de la réalité.

Les résultats paraissent sous forme de trois sections : résistivités apparentes mesurées, résistivités apparentes calculées à partir du modèle, le modèle calculé. Une correction topographique est apportée pour finaliser cette séquence de traitement.

3. Résultats et discussion

L'interprétation des mesures de résistivité électrique consiste à traduire les unités électriques en lithologie c'est-à-dire faire correspondre à chaque plage de résistivité une formation géologique équivalente. Cette conversion se base sur la comparaison entre les unités électriques et les formations traversées par les forages exécutés près du profil électrique. La littérature existante [4], [5], [6] donne des intervalles de variation pour les formations les plus fréquemment rencontrées

Les cinq modèles de distribution des résistivités électriques présentés dans cette étude sont issus de l'inversion des données acquises le long de cinq profils, globalement orienté NW-SE et W-E (dispositifs de 64 électrodes, espacement de 5 m)

La convergence des modèles est atteinte après 7 itérations, et l'erreur RMS maximale est de 7,7 %.

Pour chaque profil, les dispositifs Wenner, Schlumberger et Dipôle-dipôle donnent presque le même résultat d'inversion avec de faibles différences dans les dimensions des structures et leurs profondeurs.

L'interprétation des données obtenues a été effectuée en deux étapes. La première consiste en l'analyse des profils électriques et la mise en évidence des différents niveaux stratigraphiques, puis le contrôle de la continuité (discontinuité) spatiale de ces niveaux grâce aux coupes de forages existantes. Les résultats obtenus sont présentés par profil.

Le profil 4, présenté ici en détail, est réalisé suivant une direction NW-SE. L'erreur commise lors de l'inversion est égale 1.4 %. Les résultats de la modélisation des mesures de résistivité ont été comparés aux données de lithologie d'un forage implanté près de ce profil. La section met en évidence quatre couches de différentes résistivités (Figure 2):

La première correspond à une couverture composée de matériaux secs de granulométrie variant entre sables argileux, sables grossiers, graviers, galets et débris de roches altérées (R15a, R15b, R15c et R14a) dont les résistivités oscillent entre (200 Ohm.m et 500 Ohm.m) avec une faible épaisseur de 2 m à 5 m. La deuxième unité formée par une formation conductrice (R16a) de faibles résistivités (20 à 130 Ohm.m) qui correspond à la couleur bleu sur la coupe, avec une puissance de 8 à 20m. La troisième unité se caractérise par des résistivités entre 150 et 500 Ohm.m et correspond aux gneiss altérés (R15b) avec une épaisseur de 20 m. La quatrième unité apparaît à partir de 35 m de profondeur possède des résistivités entre 500 et 2000 Ohm.m et correspond au socle gneissique sain (R14b).

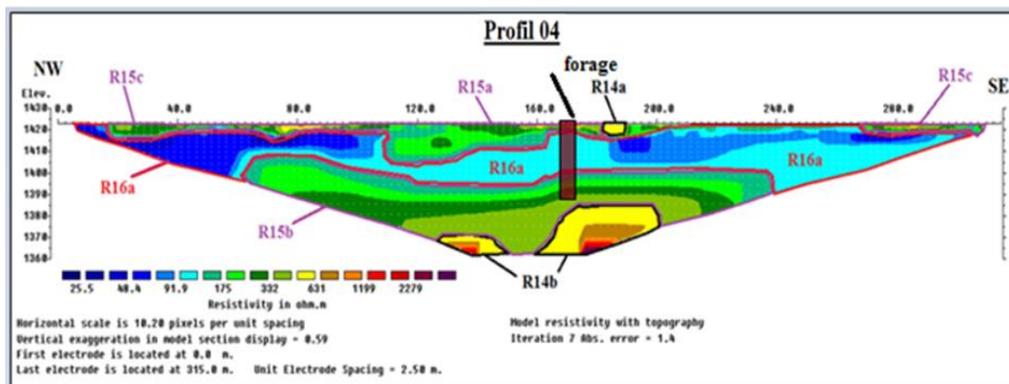


Figure 2. Profil 04 de tomographie de résistivité électrique.

A partir des résultats des cinq profils tomographiques, des données de forages et des données géophysiques et hydrogéologiques des travaux antérieures, on a pu dresser un schéma conceptuel qui résume la configuration du système d'inferoflux de la région de Tamanrasset. En effet les crues successives de l'oued Tamanrasset ont créé des cuvettes alluvionnaires séparées par des seuils du socle. Les épaisseurs et la granulométrie des alluvions sont variables et dépendent de la forme de chaque cuvette mais aussi de la pente et de la forme du lit de l'oued.

Conclusion

Les différentes investigations de terrain nous ont permis de répondre à plusieurs questions relatives à la configuration des nappes d'infero-flux de la région de Tamanrasset. Les mesures des résistivités électriques par la méthode de tomographie ont précisé la lithologie et la géométrie des alluvions et de leur substratum. Quatre couches de réponses électriques différentes ont été identifiées : les alluvions grossières sèches (graviers, cailloutis et galets) se trouvant en surface et en sub-surface et caractérisées par des résistivités élevées (entre 500 et 2500 ohm.m) ; les alluvions moyennes à fines pouvant renfermer la nappe et ayant des résistivités variant entre 50 et 200 ohm.m ; le socle altéré, avec des valeurs de résistivité allant de 200 à 500 ohm.m ; le socle sain, très résistant, avec des valeurs allant jusqu'à 3000 ohm.m, et dont la profondeur peut atteindre 40 m dans les fonds de cuvettes alluvionnaires. Le schéma conceptuel du système hydrogéologique d'infero-flux de la région se compose de cinq cuvettes alluvionnaires qui se succèdent de l'amont vers l'aval et qui sont séparées par des seuils correspondants aux affleurements du socle gneissique. Ces résultats vont permettre de créer un modèle numérique de l'écoulement des eaux souterraines qui va certainement contribuer à une meilleure gestion de cette ressource.

Références

- [1] S. Sajeena, V.M. Abdul Hakkim, E.K. Kurien, Identification of Groundwater Prospective Zones Using Geoelectrical and Electromagnetic Surveys. International Journal of Engineering Inventions 3 (2014) 17-21
- [2] M.H.Loke, R.D. Barker, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method, Geophysics 44(1996) 131-152.
- [3] A. Giocoli , C. Magni , P. Vannoli , S. Piscitelli , E. Rizzo , A. Siniscalchi , P. Burrato , C. Basso and S.Di Nocera, Electrical Resistivity Tomography investigations in the Ufita Valley (Southern Italy), Annals of geophysics, 51(2008) 213-223.
- [4] A. Samouëlian, I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand, G. Richard, Electrical resistivity survey in soil science: a review, Soil & Tillage Research 83(2005) 173-193
- [5] L. Marescot, Introduction à l'imagerie électrique du sous-sol, Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles, 90 (2006) 23-40.
- [6] L. Laigre, E. Reynard, G. Arnaud-Fassetta, L. Baron et D. Glenz., Caractérisation de la paléodynamique du Rhône en Valais central (Suisse) à l'aide de la tomographie de résistivité électrique, Géomorphologie : relief, processus, environnement, 18 (2012), 405-426.

Planification et gestion des ressources en eau

Bentahar kheira¹, Yebdri djilali²

¹ Université des sciences et de la technologie D'Oran Mohamed Boudiaf Département d'hydraulique, Algérie, Tél : 0021395525104, amy200880@hotmail.fr

² Université des sciences et de la technologie D'Oran Mohamed Boudiaf Département d'hydraulique, Algérie, dyebdri@yahoo.fr

Résumé

La ressource d'eau est limitée, constante et vulnérable tandis que les besoins à cet élément essentiel à la vie, à la prospérité des communautés, grandissent continuellement. Il est donc plus raisonnable, de passer de la gestion technique, axé sur l'évaluation des ressources disponibles et la répartition entre les usages dominants (gestion de l'offre), à une approche intégrée.

Dans ce contexte, on comprend alors la nécessité de mettre au point des outils et des instruments d'aide à la gestion et à la décision qui permettent de mieux cerner le fonctionnement des hydrosystèmes naturels.

WEAP (Water Evaluation And Planning) est l'un des outils numériques de planification intégrée des ressources en eau. Il permet de simuler toutes les ressources en eau, l'offre, la demande et la qualité de l'eau.

L'objectif de ce travail est de faire une gestion de la ressource d'eau du (GUT) groupement urbain de Tlemcen (Situé dans le nord-ouest algérien) à l'aide du modèle WEAP afin de satisfaire leurs besoins en eau.

L'application du modèle WEAP dans notre étude nous a ramené de proposer des solutions pour pallier le déficit et satisfaire les besoins en eau dans le groupement urbain de Tlemcen parmi ces solutions nous retenons : l'augmentation des ressources (dessalement) qui permis de satisfaire les besoins en eau jusqu'à 2028.

Mots-clés : gestion de l'eau, modèle WEAP, ressources en eau, hydrosystèmes.

Water resource planning and management

Abstract

Water resources are limited, constant and vulnerable, while the needs for this essential element of life, the prosperity of the communities, are constantly growing. It is therefore more reasonable to move from technical management, focusing on the evaluation of the available resources and the distribution between the dominant uses (supply management), to an integrated approach. In this context, we understand the need to develop tools and instruments to assist in management and decision making, which allow us to better understand the functioning of natural hydrosystems. WEAP (Water Evaluation And Planning) is one of the digital tools for integrated water resources planning. It simulates all water resources, supply, demand and water quality. The objective of this work is to manage the water resource of the (GUT) urban group of Tlemcen (located in the northwest of Algeria) using the WEAP model in order to satisfy their water needs. The application of the WEAP model in our study has led us to propose solutions to compensate for the deficit and to satisfy the water needs in the urban group of Tlemcen among these solutions we retain: the increase in resources (desalination) that allowed to satisfy Water requirements up to 2028

Key Words: Water management, WEAP model, water resources, hydrosystems.

Introduction

La pénurie de l'eau dans le monde, et la gestion des ressources en eau constituent l'un des problèmes les plus cruciaux du 21ème siècle. Les changements climatiques et la sécheresse qui sévissent depuis plusieurs décennies dans différentes régions du monde, ont touché particulièrement les pays d'Afrique du Nord, d'Afrique Subsaharienne, et ont eu un impact négatif sur les ressources en eau de ces pays

La situation actuelle en Algérie, se caractérise par un déséquilibre entre les besoins en eau et les ressources disponibles. La croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux dernières décennies écoulées, un accroissement considérable des besoins en eau. Donc, en raison de la balance déficitaire qui caractérise non seulement le groupement urbain de Tlemcen, il s'avère nécessaire de rechercher des solutions pour satisfaire les besoins en eau ; pour ceci nous avons choisi comme méthode d'approche le modèle WEAP (Water Evaluation And Planning) pour la gestion quantitative de l'eau du GUT.

1. Présentation de la zone d'étude :

Le GUT est situé sur les piémonts Nord des Monts de Tlemcen (territoire nord-ouest algérien), il englobe les communes de Mansourah, Chetouane et Tlemcen. Il occupe environ 11.220 hectares constituant le bassin intérieur de Tlemcen Ce bassin est limité au Sud par la falaise de Lalla Setti, au Nord par la haute colline d'Ain El Houtz, à l'Est par Oum El Allou et à l'Ouest par les monticules de Béni Mester

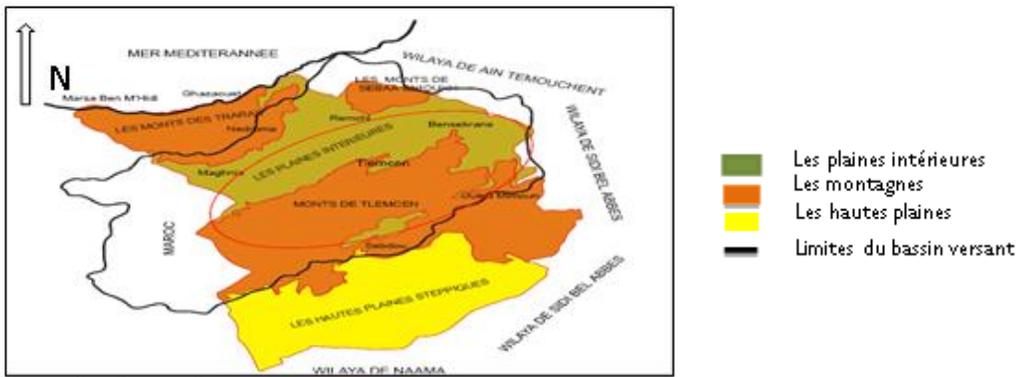


Figure 1 : Cadre géographique de la région d'étude [1]

2. Présentation du modèle WEAP:

WEAP (Water Evaluation and Planning) est un outil numérique pour la planification intégrée des ressources en eau, développé par l'Institut de l'Environnement de Stockholm. Le Centre d'ingénieur hydrologique (HEC) des USA a effectué le perfectionnement du logiciel [2].

WEAP II fournit une structure compréhensive, flexible et d'utilisation facile pour les analyses des politiques de l'eau. Il représente pour les professionnels de l'eau un ajout très utile à leur boîte à outils de modèles, de bases de données, de feuilles de calculs et autres logiciels.

Le logiciel WEAP est utilisé pour la planification et l'exploitation de toutes les ressources en eau que ce soit eau de pluie, eau de surface ou eau souterraine. C'est un logiciel de modélisation hydrologique pour la gestion intégrée et durable des ressources en eau

3. Analyse des scénarios de gestion par le modèle WEAP :

Notons que dans WEAP, les analyses se font selon des scénarios. Une analyse typique dans WEAP est composée de trois étapes une année de compte courant choisie comme année de référence du modèle dont on ajoute les données ou une période, un scénario de référence établi à partir du compte courant et sert pour simuler l'évolution, probable du système sans interposition, ou intervention et d'autres scénarios pour évaluer les effets des changements socioéconomiques, changements climatiques probables pour l'année ou projet futur[2].

Nous avons établi les scénarios suivants: Variante de référence ; méthode de l'année hydrologique, augmentation des ressources dessalement

3.1. Scénario de référence :

Il décrit la situation et l'évolution tendancielle des ressources et de la demande en eau à partir de l'année des comptes (année 2011) jusqu'en 2030, et ceci sans aucune influence. Ou l'approvisionnement des demandes dans ce scénario suit l'ordre de priorité suivant : les besoins domestique en 1^{ère} priorité, l'industrie en 2^{ème} et l'irrigation en 3^{ème} position.

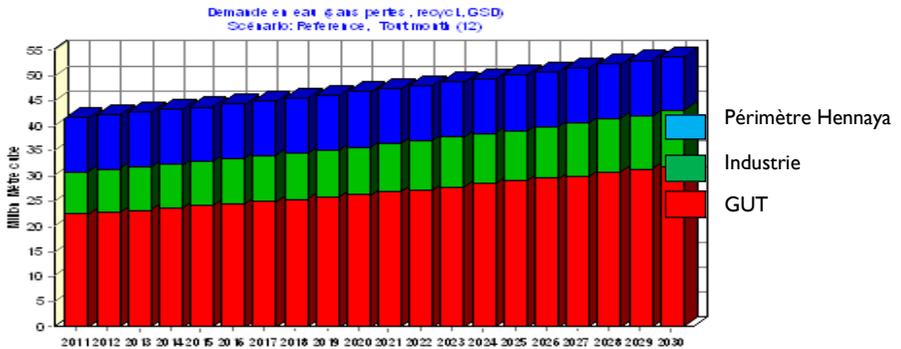


Figure 2: Demande en eau annuelle des sites de demande en 2030 dans le Scénario de référence (2011-2030).

La demande en eau, en l'an 2030 par exemple, s'élève à 55.89 Hm³ répartie en 31.96 Hm³ pour le groupement urbain de Tlemcen, 10.98 Hm³ pour l'industrie et 10.95 Hm³ pour l'irrigation.

3. 2. Scénario méthode de l'année hydrologique :

Le but est de définir différents régimes climatiques (très sec, sec, humide, très humide, normale...) et de comparer avec une année normale en donnant une valeur entre 0.7 à 1.45 à chaque type de climat. La valeur 1 pour une année normale, une valeur inférieure à 1 pour année sèche et une valeur supérieure à 1 pour année humide. Le logiciel de simulation ne reconnaît que des valeurs numériques. Chaque type de climat doit porter une valeur numérique pour que le logiciel puisse faire la modélisation. Le tableau ci-après présente les coefficients utilisés pour les différents types de climat.

Tableau 1 : Définitions des types de climats [3]

Types de l'année	Très s	Nor	hum	Très humid
Chiffre correspondant	0.7	1	1.1	1.45

L'étape suivante de l'utilisation de la « Méthode de l'année Hydrologique » est la création d'une séquence de variations climatiques pour la période d'étude. Pour chaque année de la période est assigné une des catégories du climat (exp. (2011-2013) est une année normale, (2014-2015) est une année sec ;).

La figure 3 montre que la « Demande non Satisfaite » varie parallèlement aux variations climatiques futures. Durant les années humides ou plus humides ou il ya une augmentation des précipitations, la demande non satisfaite est faible. L'opposé s'installe durant les années sèches à très sèches, où les précipitations sont faibles et le déficit est plus important Il atteint en l'an 2030 : 38.85 Hm³ pour le GUT contre 30.06 Hm³ pour le scénario de référence. C'est ainsi qu'un faible changement climatique, influe directement sur l'approvisionnement en eau.

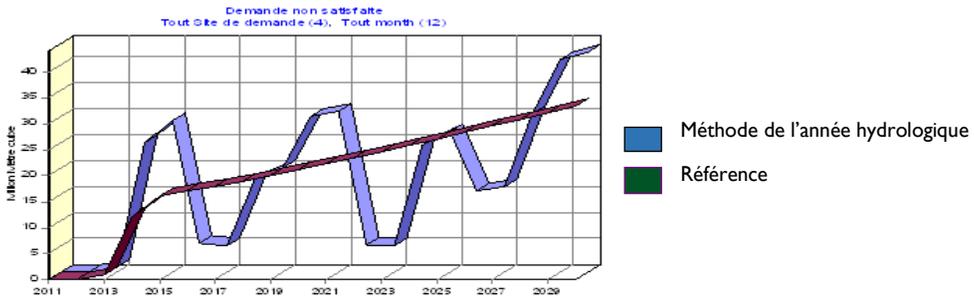


Figure 3: Projection de la demande non satisfaite dans le scénario « Méthode de l'année hydrologique » 2011-2030

3. 3. Scénario augmentation des ressources :

Pour augmenter les capacités de fourniture d'eau du GUT en introduisant la mise en place d'une station de dessalement Honain, qui permettra l'accroissement de la production d'eau avec un apport journalier de 60000 m³/j. Remarquons dans la figure 4 que cet apport de 60000 m³/j peut satisfaire les besoins en eau du GUT jusqu'à 2030. C'est ainsi que le déficit en 2030 est 0 pour le scénario augmentation des ressources contre 12.73 Hm³ pour celui de référence pour GUT

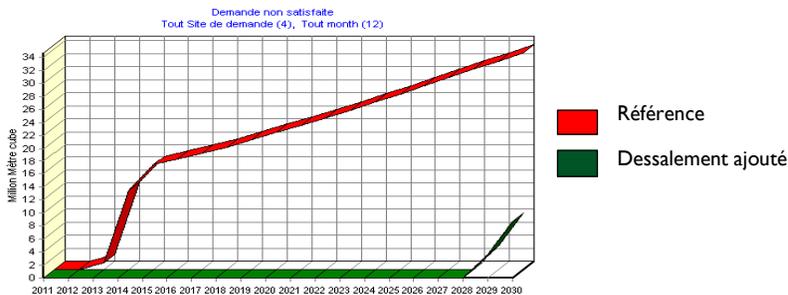


Figure 4 : Projection de la demande non satisfaite dans le scénario « Dessalement » 2011-2030 pour GUT

Conclusion

L'eau qui est devenue une denrée rare et précieuse, constitue un élément indispensable pour la vie et l'équilibre de l'individu. Elle représente un facteur déterminant pour le développement économique et social d'un pays. Du fait de sa précarité et de sa fragilité, voire de son irrégularité, cette ressource nécessite notamment une attention très particulière quant à sa mobilisation et sa gestion. Ce travail avait pour objectif l'étude de la gestion quantitative de l'eau du groupement urbain de Tlemcen. Dans l'étude de la gestion quantitative du GUT nous avons utilisé le modèle WEAP. Ce modèle est un outil de prévision qui simule les ressources en eau, l'offre, la demande de l'eau. Nous avons proposé trois scénarios pour évaluer les effets et l'impact des différents modes de gestion de la ressource et donc pouvoir faire les choix appropriés par l'application du modèle WEAP. Les trois scénarios proposés sont: scénario de référence, méthode de l'année hydrologique, augmentation des ressources dessalement. L'application du modèle WEAP dans notre étude nous a ramené de proposer des solutions pour satisfaire les besoins en eau dans le groupement urbain de Tlemcen parmi ces solutions nous retenons : L'augmentation des ressources dessalement de l'eau de mer qui permis de satisfaire les besoins en eau jusqu'à 2028 et enfin, WEAP est un outil approprié et facile d'analyse et de clairvoyance, donc de décision dans la gestion de l'approvisionnement en eau et dans le contexte de gestion intégrée de la ressource eau.

Références

- [1] Hamlet, A, contribution à la gestion des ressources hydriques des bassins versants (bassin de la Tafna) par l'application du modèle SWAT, mémoire de magister, usto, 2005
- [2] Tutoriel, WEAP, une collection de modules autonomes pour aider à apprendre le logiciel WEAP, Stockholm environment Institute, 2008
- [3] Rakotondrabe, Felaniaina, Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements Climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 2I : cas du bassin versant de Morondava Sud-ouest de Madagascar, 2007

Apport de l'analyse statistique multi variée de l'hydrogéochimie et de la géostatistique à l'étude des eaux souterraines : cas de la plaine d'ain oussera Algérie

Fatah.Bouteldjaoui¹, Ahmed. Kettab¹, Mohamed. Bessenasse², Laila Oualkacha³

¹Ecole Nationale Polytechnique (ENP), Laboratoire de Recherche Sciences de l'Eau (LRS-EAU/ENP) 10, Av. HacénBadi, BP 182 El-Harrach-Alger, Algérie, +213 552 783 613, +213 661529 524
Email:theldjaoui@yahoo.fr ; kettab@yahoo.fr

² Université Saad Dahlab, Soumaa, Blida, 09000, Blida, Algérie, +213 561 941 215, mbessenasse@yahoo.fr

³Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, B.P.146, Mohammedia, Maroc-lailaoualkacha@gmail.com

Résumé

La plaine d'Ain Oussera, située dans la partie centrale de l'Algérie Nord, caractérisée par un climat semi-aride, et ses ressources en eaux souterraines sont exploitées pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation. La représentation graphique des points d'eaux analysés sur le diagramme de Piper montre que les eaux de la nappe albienne sont du type chloruré sulfaté calcique et magnésienne. Les indices de saturation, calculés avec PHREEQC montrent que les processus qui contrôlent la composition chimique des eaux sont : La dissolution de la halite, du gypse et de l'anhydrite explique une partie des concentrations en Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} mais d'autres processus peuvent également avoir une influence tels que la précipitation de calcite et la dolomite. L'application des méthodes statistiques multivariées ACP et CHA nous a permis de classer les échantillons en trois groupes, en allant des eaux les moins minéralisées aux plus minéralisées. L'utilisation de la géostatistique montre que le meilleur ajustement des variogrammes des éléments chimiques, a été obtenu grâce au modèle sphérique et exponentiel.

Mots clés : Hydrochimie, ACP, Géostatistique, Albien

An integrated multivariate analysis, hydrogeochemistry and geostatistical methods to study the groundwater quality : Ain oussera, Algeria

Abstract

The area of study, Ain Oussera, is located in the semi-arid high plains of the Saharian Atlas (at 200 Km south of Algiers) with an area of about 3,790 Km². Groundwater investigated in the present study is from the Albian formations, which is considered a major source for drinking and irrigation water. The hydrochemical facies of groundwater was mostly of the Ca–Mg–Cl–SO₄ type. The dissolution of halite, anhydrite and gypsum explains part of the contained Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , and Ca^{2+} , but other processes, such as cation exchange, calcite, aragonite and dolomite, also contribute to the water composition. The combined use of multivariate statistical methods and hydrogeochemical modeling has shown to be a useful approach in interpreting groundwater hydrochemistry and geochemical processes occurring in study area. Geostatistical approach was used to analyze the spatial variability of groundwater quality parameters. It was observed that the semivariogram parameters fitted well in the exponential model for water quality parameters.

Key Words: Hydrogeochemistry, PCA, Geostatistics, Albian, Algeria

Introduction

La plaine d'Ain Oussera se situe dans la partie centrale de l'Algérie du Nord entre les longitudes 2°15' et 3°45'E et les latitudes 35° et 35°40' N, et couvre approximativement une superficie de 3795 km² [1]. Les eaux souterraines de l'aquifère albien y constituent la principale source d'approvisionnement en eau potable, agricole et industrielle vu la rareté des eaux de surface. L'objectif est de comprendre les processus majeurs qui régissent la minéralisation et la qualité des eaux souterraines à travers une approche couplée statistique, géochimique et géostatistique.

1. Cadre général

La plaine d'Ain Oussera se situe dans la partie centrale de l'Algérie du Nord entre les longitudes 2°15' et 3°45'E et les latitudes 35° et 35°40' N, et couvre approximativement une superficie de 3795 km². Le climat qui règne dans cette région est de type semi-aride, marquée par des précipitations faibles et irrégulières, ne dépassant qu'exceptionnellement 200 mm an⁻¹ (ANRH, 2007). Les moyennes interannuelles de la température et de l'évapotranspiration potentielle pour la période 1991–2011 sont estimées à 17.1°C et 1526 mm an⁻¹, respectivement [2]. Les eaux souterraines de l'aquifère albien y constituent la principale source d'approvisionnement en eau potable, agricole et industrielle vu la rareté des eaux de surface [3-4].

2. Cadre géologique

La lithostratigraphie des formations géologiques est bien connue grâce aux études géologiques et hydrogéologiques réalisées par Caratini et Ayad [1-5]. La plaine de Ain-Oussera se présente comme un vaste anticlinorium à cœur crétacé, compliqué par un système d'anticlinaux, développés sur les versants Sud et Nord et dont l'axe passerait par Bou Cedraia [5]. Les dépôts quaternaires recouvrent presque totalement la plaine. Sur les flancs Sud et Nord, les formations crétacées affleurent à Koudiat es Seguia El fia, El Mouilah, Doghmane et en Nesser [1].

3. Cadre hydrogéologique

L'aquifère Albien d'Ain oussera, objet principal de cette étude, est logé dans les formations du Crétacé inférieur (Néocomien, Barrémien, Aptien et Albien). Il est constitué par des grès continentaux perméables. Cet aquifère est à potentialité hydrique importante dans la région d'Ain Oussera [1]. En effet, cette formation affleure en plusieurs points sur la plaine, tandis qu'ailleurs, le toit de l'aquifère est proche de la surface du sol.

4. Matériel et méthodes

La Fig. 1 montre la localisation des différents points où des prélèvements ont eu lieu dans la nappe de la plaine d'Ain Oussera. Un total de 27 échantillons a été prélevé à partir du système aquifère durant la période octobre 2004. Les paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, température) ont été mesurés in situ. Les analyses chimiques des éléments majeurs ont été réalisées au Laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique d'Alger (ANRH).

5. Résultats et discussions

5.1. Faciès hydrochimiques

La présentation des résultats des analyses chimiques sur ce diagramme (Fig. 2) fait apparaître que les eaux de la nappe de la plaine d'Ain oussera sont caractérisées par la dominance du faciès chloruré sulfaté calcique et magnésienne.

5.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse en composantes principales montre l'existence de trois axes principaux, présentant une variance totale de 83.13 % (Fig. 3). la première composante principale représente 58,87 % de la variance totale et elle est déterminé par les éléments chimiques Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, SO₄²⁻ et Cl⁻ et la conductivité électrique EC et donc un axe de minéralisation évaporitique et salifère. La deuxième composante principale exprime 14.19% de la variance, il est déterminé par les variables NO₃⁻, pH et CO₃²⁻. Cette composante explique l'impact de l'activité anthropique (urbanisation et agriculture) sur le chimisme des eaux de la nappe. L'axe principal F3 exprime 10.07% de la variance, il est défini positivement par les bicarbonates.

5.3 Classification ascendante hiérarchique (CHA)

L'application de cette technique aux eaux échantillonnées montre trois groupes (Fig. 4). La conductivité électrique semble être un facteur distinctif majeur avec des concentrations croissantes dans tous les principaux ions dans l'ordre : groupe 1, groupe 2 et le groupe 3. Le groupe 1 comprend les échantillons d'eaux faiblement minéralisées, et concerne 67% des échantillons d'eau. Le groupe 2 comprend les échantillons d'eaux moyennement minéralisées, et occupe 26 %

des échantillons d'eau, avec une CE de 1798.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le groupe 3 est caractérisé par une conductivité électrique d'environ 3260 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

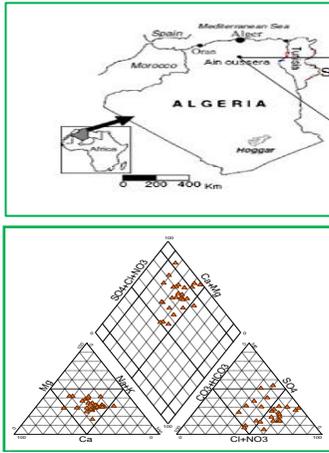


Figure 2. Diagramme de Piper, campagne septembre 2004

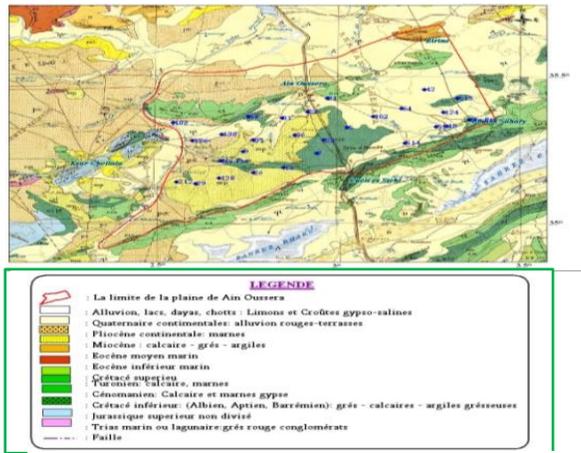


Figure 1. Localisation géographique, géologie et localisation des points d'eaux dans la Plaine d'Ain Oussera

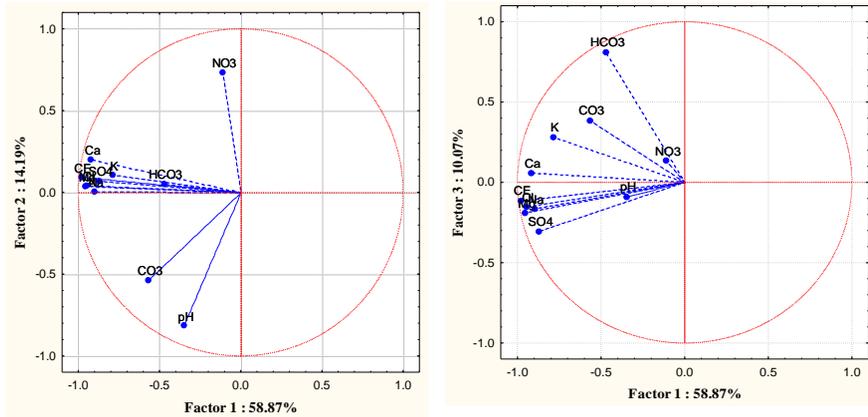


Figure 3 Projection des variables sur les plans factoriels I-2 et I-3

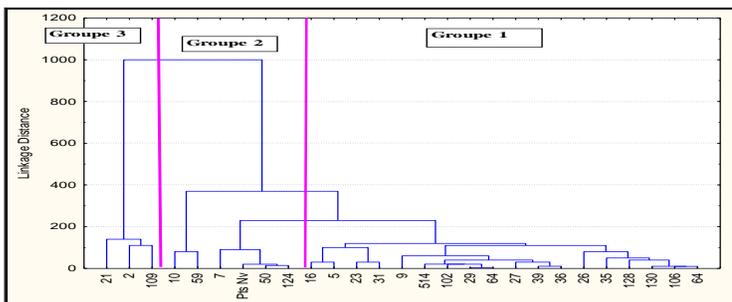


Figure 4 Classification hiérarchique des eaux souterraine de la plaine d'Ain Oussera

5.4 Cartographie des paramètres physico chimiques

La carte de variation de pH montre que les valeurs les plus fortes ont été enregistrées dans la partie Sud-Ouest de la plaine, avec des valeurs atteignant 8.8 (Fig. 6a). Les valeurs de la conductivité électrique varient entre 650 et 5150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 1929.36 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La distribution spatiale de ce paramètre montre que les valeurs plus levées se localisent au centre et au Nord-Ouest de la plaine (Fig. 6b). Plus on s'éloigne du centre vers la partie est plus la conductivité devient faible. Le TDS exprime le contenu en sels d'une eau ; il est bien corrélé à la conductivité. L'analyse des cartes établies présente une teneur très élevée en TDS dans le centre et le Nord-Ouest est de la plaine (Fig. 6c).

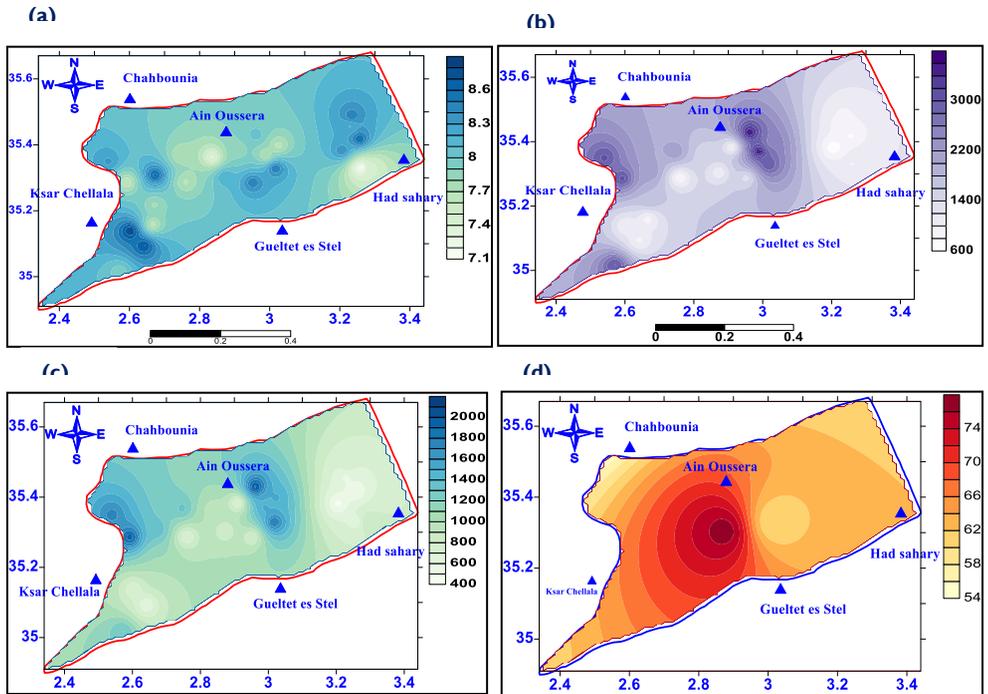


Figure 6. Carte d'iso-teneurs de quelques éléments chimiques des eaux souterraines de la plaine d'Ain oussera : (a) pH, (b) CE, (c) TDS, (d) NO_3^-

Conclusion

Les analyses chimiques montrent que les eaux de l'aquifère Albien d'Ain oussera sont de type chloruré sulfaté calcique et magnésienne. L'Analyse en Composantes Principales et la Classification Ascendante Hiérarchique indiquent que la minéralisation des eaux souterraines est contrôlée par la nature des formations géologiques présentes dans la région. La dissolution du gypse, de l'halite et/ou l'anhydrite contribuerait à la salinisation des eaux de la nappe. Ceci est d'ailleurs en parfait accord avec l'état de sous-saturation des eaux vis-à-vis de ces minéraux pour la majorité des points échantillonnés.

Références

[1] Ayad, Etude hydrogéologique de la nappe d'Ain Oussera, Rapport Technique, A.N.R.H, Alger 1983.N.
 [2] F. Bouteldjaoui, M. Bessenasse, A. Gendouz A, Etude comparative des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration en zone semi-aride (cas de la région de Djelfa), Revue Nature & Technologie,7 (2012) 109-116.
 [3] A. Kettab, R. Mitiche R, N. Bennaçar, Water for a sustainable development : challenges and strategies, Revue des sciences de l'eau, 21 (2) (2008) 247-256.
 [4] A.Kettab, Water for all with quality and quantity : it is the concern of all, Desalination and Water Treatment, 52(2014)1965–1966.
 [5] C. Caratini, Etude géologique de la région de Chellala-Reibell. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, sér, 40 (1970) 1-311.

HydroPop : une nouvelle façon d'aborder la question du partage de l'eau en situation de basses eaux en France métropolitaine méridionale

Philippe Martin ¹, Pierre-Alain Ayrat ², Ingrid Canovas ², Patricia Cicille ³, Jean-François Didon-Lescot ⁴, Jean-Marc Domergue ⁴, Annick Douguedroit ³, Nadine Grard ⁴, Salioù Kamara ⁵, Christian Lopez ², Sylvie Morardet ⁶, Sophie Sauvagnargues ²

¹ Université d'Avignon, ESPACE UMR7300 du CNRS, 74 rue L. Pasteur, 84 029 Avignon cedex philippe.martin@univ-avignon.fr

² IMT Mines d'Alès, 6 av de Clavières, 30100 Alès pierre-alain.ayrat@mines-ales.fr ; ingrid.canovas@mines-ales.fr ; christian.lopez@mines-ales.fr ; sophie.sauvagnargues@mines-ales.fr

³ Aix-Marseille Université, ESPACE UMR7300 du CNRS, Technopôle de l'Environnement Arbois Méditerranée, BP 80, 13545 Aix-en-Provence Cedex 04 patricia.cicille@univ-amu.fr ; annick.douguedroit@univ-amu.fr

⁴ Université de Nice Côte d'Azur, ESPACE UMR7300 du CNRS, Station INRA, 390 chemin des Boissières 30380 Saint-Christol-les-Alès jean-francois.didon-lescot@unice.fr ; jean-marc.domergue@unice.fr ; nadine.grard@unice.fr

⁵ Chercheur Associé ESPACE UMR7300 du CNRS, BP 836 Saint-Louis Sénégal salioù.kamara@gmail.com

⁶ Irstea, UMR G-eau, BP 5095, 34 196 Montpellier cedex. sylvie.morardet@irstea.fr

Résumé

En Cévennes, en été, les ressources en eau sont faibles. L'écart entre ces ressources et les besoins génère des difficultés locales. Le changement climatique et l'évolution des modes de vie devraient conduire à un accroissement des problèmes. La solution ne peut être trouvée que dans une exploitation et un partage plus adaptés de l'eau disponible. Le programme HydroPop est basé sur la nécessité d'un juste partage de la ressource, supposant une connaissance du phénomène hydrologique, et appuyé sur un attachement des populations à leur milieu naturel. Une attitude collective responsable doit sous-tendre une démocratie locale participative et délibérative. Pour cela il faut mettre en place les moyens d'une information. La première exigence est donc de mieux connaître la ressource disponible en eau, en été. À cette fin, nous réalisons des mesures sur dix sections temporaires d'étiage du réseau hydrographique des Gardons d'Anduze et d'Alès en Cévennes. Ces mesures nécessitent, avant d'être communiquées à la population, une chaîne de traitement quasiment en temps réel avant d'être communiquées à la population, d'une part, par des échelles de gravité de la sécheresse installées en quatre points du territoire, et d'autre part par des communiqués hebdomadaires dans des médias. HydroPop a aussi pour objectif d'enquêter sur la culture locale de l'eau et sur les attentes des populations en Cévennes. Cette phase pourra déboucher sur le recrutement d'Observateurs Bénévoles Occasionnels qui compléteront le recueil d'informations qui devrait, à terme, prendre place sur un site internet dédié.

Mots clés : hydrologie populaire et participative, étiage, changement climatique, bassin méditerranéen, gestion participative de l'eau

HydroPop: A new approach to water sharing in low-flow conditions in southern of metropolitan France

Abstract

In the "Cévennes", during summertime, water resources are rare. The gap between these resources and the population needs generates local difficulties. Climate change and lifestyle evolution might increase the issue in the future. The solution only lies on a more appropriate use and sharing of the available water. The HydroPop program is based on the necessity of a fair sharing of the resource assuming a better understanding of the hydrologic phenomenon and supported by the population attachment to their natural environment. This implies a responsible collective behavior, underpinned by a participatory and deliberative local democracy. Thus, the means to inform must be setting up. The first requirement is therefore to better assess the water resource availability in summertime. We carried out measurements on ten sections of the hydrographic network of the "Gardons d'Anduze and Alès". These measurements require a processing chain in near-real time, i) through drought gravity scales put at four points, and ii) weekly media releases, before being communicated to the population. HydroPop also aims at investigating the local water culture and the expectations of the populations in the "Cévennes". This phase may lead to the recruitment of occasional volunteer observers who will complement the collection of information, which should ultimately take place on a dedicated webmapping platform.

Key Words: Popular and participatory hydrology, low flow, crowd hydrology, climate change, Mediterranean basin, participatory water management

Introduction

La France, en particulier méridionale, connaît de façon récurrente des périodes de sécheresse (1920-21, 1945, 1976, 2003, 2005), des années de tensions entre l'offre et la demande en eau, quels que soient les usages : eau potable, usages agricoles, récréatifs... Selon les modélisations réalisées dans le cadre de l'étude du changement climatique en cours, sa partie méditerranéenne devrait être, de plus en plus, soumise à des périodes de fortes chaleurs, comme en 2003, et à une réduction globale de la pluviosité avec une diminution notable des pluies avant, et lors de la saison sèche d'été. À ces considérations liées à la variabilité séculaire du climat et aux évolutions en tendances observées, il faut ajouter des facteurs plus locaux, mais non moins importants, qui viennent aggraver la situation actuelle et à venir.

En fonction de ce contexte, les pouvoirs publics ont mis en place, à partir des années 1950, de vastes infrastructures, qui ont pour but de transférer de l'eau de zones bien pourvues vers des aires déficitaires. Ces systèmes qui ont donné satisfaction ne peuvent plus guère aujourd'hui être massivement développés pour deux raisons essentielles. D'une part les transformations qu'ils induisent de l'environnement tant pendant la phase de construction (barrages, canaux) que pendant la phase d'exploitation (modification des régimes fluviaux) ne sont aujourd'hui plus guère acceptables par des populations, souvent néorurales, marquées par une sensibilité écologique croissante. D'autre part, en raison des coûts d'infrastructures et de fonctionnement, cette solution ne peut être développée sur l'ensemble du territoire méridional méditerranéen. De telles opérations restent vraisemblablement possibles, mais elles ne peuvent concerner les zones rurales ou suburbaines éloignées de grands centres urbains métropolisés, comme les Cévennes, dans lesquelles la capacité et le consentement à payer pour l'eau, de la population, sont faibles.

Il existe donc des territoires, souvent les parties amont des bassins versants, qui ne présentent pas de réels enjeux économiques, mais qui accueillent des populations croissantes, permanentes ou temporaires (tourisme), dont les besoins augmentent en fonction de l'évolution du niveau et du mode de vie. Dans de tels territoires, il faut alors trouver les moyens d'optimiser l'usage de la ressource locale en eau, laquelle est variable dans le temps et dans l'espace et pourrait être affectée par le changement climatique (aridification). Tout le problème est de savoir comment faire.

I. Devoir partager l'eau

La France, suivant en cela l'Union européenne (DCE 2000) et sa propre législation (loi sur l'eau 1992, LEMA 2006), a choisi de réserver une partie des débits au milieu naturel, même en situation de tension : 1/10 du débit moyen interannuel (1/20 en cas d'étiage sévère) doit être conservé pour l'écoulement. Cette norme a un fondement statistique discutable en régime méditerranéen, en raison de l'extrême variabilité intra et interannuelle des débits : fortes crues d'automne, sévères étiages d'été. En raison de l'importance des crues, les modules sont relativement élevés alors même que les débits estivaux sont indigents. Dans ces conditions, la valeur correspondant à la norme peut être au-dessus du débit en juillet et en août, ce qui conduit logiquement à des restrictions de prélèvement, sauf pour les besoins fondamentaux (eau potable), les difficultés pour les autres usages se trouvent alors accrues du fait même des choix effectués.

Il ne faut pas oublier en outre que la mesure des débits est un art difficile et que la connaissance des écoulements en de nombreux points du réseau hydrographique est très insuffisante. Les mesures effectuées pour appréhender, avec une bonne précision, les débits de début d'été et d'étiage sont rarissimes. La ressource disponible en phase de tension est donc mal connue. L'absence d'informations fines ouvre alors la porte à toutes les contestations, ce qui ne facilite pas la gestion du problème. Une démarche telle que la mise en place d'un Plan de Gestion des Ressources en Eau ne peut se faire sans une évaluation fine de la ressource, une réflexion sur les normes à appliquer en zone méditerranéenne, une diffusion de la connaissance acquise sur les écoulements, qui doit prendre en compte la culture de l'eau des populations locales. C'est semblait-il à ces conditions qu'un partage rationnel et raisonnable de l'eau pourra être accepté.

Par ailleurs, le territoire cévenol est marqué par une occupation humaine qui a culminé aux 17^e et 18^e siècle. Il y subsiste des activités agricoles relictuelles recourant plus ou moins à l'irrigation gravitaire (béals... [1]) et produisant des denrées reconnues et labélisées (pomme, oignon). L'été des résidents temporaires récurrents (résidents secondaires) ou purement touristiques (camping, gîte...) engendrent des activités consommatrices d'eau. Cela étant il paraît probable qu'une partie de l'avenir de ces hauts bassins versants réside dans la poursuite de ces activités agricoles, touristiques et résidentielles qui devraient profiter d'une grande qualité environnementale à préserver. Ce développement pourrait être contraint par la faiblesse des volumes d'eau disponibles en été.

L'idée de partage de la ressource s'appuie aussi sur celle d'un attachement à un lieu partagé (le lieu fait lien et les liens construisent le lieu), à un territoire qui fournit des ressources essentielles à ceux qui y vivent. Sa conservation en vue de sa transmission en bon état à d'autres occupants implique une attitude responsable collective que ne peut que sous-tendre une démocratie locale participative et délibérative. Mais comme en démocratie, une idée, fut-elle bien établie par un raisonnement rationnel, est nulle et non avenue si elle n'est pas portée par un groupe de citoyens, il faut, en tout premier lieu, mettre en place les moyens d'informer les personnes, c'est aussi ce que cherche à faire le programme HydroPop.

2. Acquisition de l'information hydrologique d'étiage par un réseau de stations temporaires

Le réseau hydrométrique d'État a été calibré pour mesurer les moyennes, hautes et très hautes eaux, donc pour faire face à un risque de crues éclair et non pour obtenir une information précise sur les basses eaux et les étiages. Pour connaître finement la ressource en eau, en été, il a donc fallu implanter dans le bassin versant cévenol des Gardons (pris comme exemple) un réseau constitué de dix stations temporaires d'étiage, couvrant une grande partie des milieux locaux (type de roches, de pente, altitude, couverture végétale...), adapté aux besoins en informations liées à la sécheresse. Ce réseau nous permet de réaliser des mesures hydrométriques effectuées avec une installation légère (seuil naturel, sonde de pression immergée, courbe de tarage provisoire les premières années...) et donc de fournir hebdomadairement une information hydrologique fine.

Ces stations doivent être installées, chaque été, entre 2015-2020 [2, 3, 4]. À l'issue de la première campagne, et malgré le choix apporté aux lieux d'implantation, certaines stations qui se sont avérées peu satisfaisantes, ont dû être déplacées. Le réseau de stations temporaires d'étiage ne sera donc stable et optimal qu'au bout, vraisemblablement, de trois ans, durée qui est aussi minimale pour commencer à avoir une idée de la variabilité dans le temps et dans l'espace des fonctionnements. Ceux-ci sont globalement contraints par des pentes assez fortes, des formations superficielles et des épaisseurs d'altérites relativement limitées, des aquifères à faibles réserves, et par un important couvert forestier seulement pour partie naturel (RTM : Restauration de Terrains de Montagne). La mesure concerne parfois, surtout en fin de saison estivale, de très faibles débits. Ceux-ci sont calculés à partir de hauteurs d'eau enregistrées par des sondes de pression qui doivent pouvoir suivre, les oscillations journalières très vraisemblablement liées au pompage que la végétation réalise sur des réservoirs de subsurface (sol, couche d'altérites...) très limités. Ces enregistrements nous apportent une information très riche que celle-ci soit relative au fonctionnement des sous-bassins versants (oscillation journalière, tarissement...) ou qu'elle soit liée à des usages socio-économiques de l'eau (pompage, ouverture de béal, activité récréative...).

3. Modalités de gestion des stations et structure spatiale

En théorie, ces sondes peuvent enregistrer des dizaines de milliers de mesures et, même cadencées à des pas de temps rapides (5mn), pourraient n'être relevées que rarement. En pratique, comme nous voulons livrer chaque semaine, en été, un point sur la situation hydrologique, elles doivent être relevées tous les 7 jours. Parallèlement, chaque fois que cela est possible, des jaugeages par dilution d'un traceur (NaCl) sont réalisés. Les valeurs obtenues sont entrées comme nouveaux points des courbes de tarage, ce qui produit une modification des fonctions expérimentales et conduit à recalculer tous les débits bancarisés avec ces nouvelles relations. Tout ceci implique de faire des tournées fréquentes, puis de mettre en œuvre une chaîne de traitement pour transformer rapidement les hauteurs d'eau recueillies en débits.

La dizaine de stations temporaires d'étiage en fonctionnement depuis l'été 2015 montre globalement des débits d'été inférieurs aux débits déduits de modélisations appliquées à ces bassins non jaugés. La répartition des stations sur différents types de sous-bassins permet de proposer une première modélisation de la relation existant entre la surface drainée (S) et les débits (Q). Celle-ci est réalisée à partir des seules données de l'étiage au sens strict de l'été (moment de plus bas débit clôturant un cycle). Toutefois, comme la mesure est faite à un pas de temps très fin (288 valeurs par jour), le moment où le débit est le plus bas n'est pas aisé à déterminer et peut ne pas s'observer lors du jour ayant le débit moyen journalier le plus faible. Par ailleurs, les flux sont parfois si faibles qu'il est possible que des phénomènes tout à fait conjoncturels masquent ce qu'aurait pu être l'état « naturel » de la rivière. C'est pourquoi nous calculons un débit moyen sur trois jours calendaires (le jour contenant le minimum et les deux jours précédents). C'est cet indice d'étiage que nous appelons débit d'étiage moyenné sur trois jours ou $Qe3j$. Lorsque l'on porte $\ln(Qe3j)$ en fonction de $\ln(S)$, il apparaît une excellente relation puissance ($\ln(Qe3j)=0,92\ln(S)+0,64$; $R^2=0,98$). Celle-ci a toutefois été calculée en intégrant les stations d'Anduze ($S=543\text{km}^2$) et de Ners ($S=1100\text{km}^2$) gérées par les services de l'État. Cette relation est une structure spatiale. Elle permet de calculer que l'apport supplémentaire, par km^2 , d'amont en aval décroît de $0,8\text{l/s/km}^2$ à l'amont ($S=10\text{km}^2$) à $0,5\text{l/s/km}^2$ à Ners. Deux questions se posent alors. Quelle est la variation de cette relation entre une année peu arrosée et une année humide ? Quelle est son évolution entre le début et la fin de la période estivale ? Ceci fera l'objet de nouveaux travaux dès que possible.

4. Un programme d'hydrologie populaire et participative

Pour faire face aux problèmes de ressources, un programme d'hydrologie populaire et participative (HydroPop), financé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, est en cours de réalisation (2015-2018). Il regroupe des équipes de chercheurs d'horizons différents et est fondé sur une interdisciplinarité active et revendiquée. L'idée fondamentale est de mettre à disposition de la population, l'information hydrométrique collectée afin d'engager avec celle-ci un échange sur le partage de la ressource. Pour mettre en forme cette information de manière pertinente et efficace du point de vue de la gestion participative de la ressource, il est nécessaire de tenir compte des perceptions de la population sur les phénomènes hydrologiques et les réglementations.

Une enquête auprès de la population permanente et temporaire a recueilli de l'information sur ce qui est connu (savoirs vernaculaires sur la question de l'eau en Cévennes en été) et sur ce qui est perçu (causes de la sécheresse, aridité et tension

sur la ressource, compréhension des réglementations, des décisions publique). Cette enquête, conduite durant les mois de fréquentation touristique, a aussi pour but de rendre publique la démarche HydroPop.

Plusieurs autres vecteurs de diffusion de l'information ainsi produite sont en outre mises en œuvre (échelles GraviSec, conférences, émissions de radios, site web dédié...). Ainsi, techniquement, nous avons élaboré et construit des échelles GraviSec qui renseignent la population sur le niveau d'aridité observé (valeur des débits) selon une unité de temps (tous les 7 jours) et de lieu (à proximité d'une station). C'est une échelle à quatre niveaux, représentés par quatre couleurs afin de nous baser sur les échelles de gravité des cartes de vigilance météorologique de Météo France. Le vert qui correspond à une situation sans tension (débits suffisants), a été placé en haut. La couleur jaune traduit un début de problèmes avec la ressource. La couleur orange un déficit hydrique plus que notable et la couleur rouge une forte aridité. Pratiquement, il s'agit d'installer ces échelles près de lieux de vie et de mettre en place une actualisation hebdomadaire des informations. Les échelles GraviSec sont accompagnées de deux autres informations : d'une part, le projet HydroPop est décrit par un petit texte et, d'autre part, l'hydrogramme de l'année précédente (de mai à aout) est proposé comme élément de comparaison.

Par ailleurs, au cours de la saison d'étiage, des conférences, à destination du grand public, sur la situation observée, sont organisées, et des bulletins sur la situation hydrologique sont régulièrement diffusés sur les radios locales.

Enfin, les informations utiles au débat, collectées par les membres du programme HydroPop, tant quantitatives que qualitatives, alimenteront, à terme (été 2018), un site web qui comprend une partie dynamique et une partie participative issue de l'intégration des informations collectées par des observateurs bénévoles occasionnels. Il s'agit d'adapter la crowd-hydrology à la culture française et aux particularismes locaux.

L'objectif final est donc de réfléchir à une meilleure co-construction des connaissances hydrologiques partagées afin d'assurer une réelle gestion participative de la ressource en eau en période d'étiage. Ceci devrait permettre dans un second temps, au travers d'un retour d'expérience, de développer une analyse de la réception, par la population, de la démarche HydroPop.

Conclusion

Ce projet de recherche, en cours de développement depuis 2015, rencontre un certain nombre de difficultés. Les premières, relatives à la mesure, sont aujourd'hui grandement résolues. Il reste toutefois à optimiser la collecte, le traitement et la diffusion de l'information nécessaire pour alimenter le débat public en temps réel dans les différents lieux du territoire cévennois. Cette chaîne de traitement optimisée a été testée durant l'été 2017. En même temps ont été mises en place l'enquête, les émissions de radio et les conférences dans le cadre d'un plan média. Parallèlement, mais de façon non publique, se développe une réflexion sur le type et sur l'affichage numérique (cartographie dynamique et participative) des informations recueillies, quelles que soient leur nature et leur origine. Ceci a nécessité d'avoir auparavant finalisé la constitution d'un réseau d'observateurs. Tout ceci doit permettre d'avoir quelques idées sur la conduite à tenir en situation de tension, voire de crise sur la ressource en eau, situation qui ne manquera pas de se produire dans les années à venir.

Références

- [1] Ph. Martin, J.-F. Didon-Lescot, P.-A. Ayrat, J.-M. Domergue, N. Grard, Étude du fonctionnement du béal de Charreneuve (sous bassin du Luech, commune du Chambon, Gard), durant l'étiage estival de 2016 — bassin de la Cèze. Novembre 2016. Rapport UAPV – UMR ESPACE éditeurs, Convention du 15 mai 2016 entre AB-Cèze et l'UAPV (UMR ESPACE), 2016, 28 p.
- [2] Ph. Martin, J.-F. Didon-Lescot, P.-A. Ayrat, J.-M. Domergue, N. Grard, J. Metais, L'étiage 2015 dans le Gardon amont (Cévennes). Projet pilote de suivi des débits d'étiage. Premier rapport sur huit stations temporaires d'étiage et deux stations pérennes. Rapport convention SMAGE – UAPV 2015–2017, UMR ESPACE éditeur, Avignon, 2015, 55 p.
- [3] Ph. Martin, J.-F. Didon-Lescot, P.-A. Ayrat, J.-M. Domergue, N. Grard, L'étiage 2016 dans le Gardon amont (Cévennes). Projet pilote de suivi des débits d'étiage. 2e rapport sur huit stations temporaires d'étiage et trois stations pérennes. Rapport UAPV – ESPACE éditeurs. Convention SMAGE des Gardons, 2017, 54 p.
- [4] Ph. Martin, J.-F. Didon-Lescot, P.-A. Ayrat, J.-M. Domergue, N. Grard, Éléments de fonctionnement hydrologique du ruisseau de Gravelongue (Gardon d'Alès) et du Gardon à La-Baume (Gorges du Gardon) au cours de l'étiage 2016. Projet pilote de suivi des débits d'étiage. Rapport UAPV – ESPACE éditeurs. Convention SMAGE des Gardons – UAPV, 2017, 25 p.

Extraction du mélange de Terbium (III) et Fer (III) par imprégnation de membrane liquide en utilisant D2EHPA / TOPO comme support mobile

ELHABIRI Sid Ahmed, DIDI Mohamed Amine

Université de Tlemcen; Département de chimie; Laboratoire des Technologies de Séparation et de Purification; BP 119-Tlemcen- Algérie; Tel: 00213675178394
elhabirisa.chem@gmail.com, madidi13@yahoo.fr

Résumé

L'extraction sélective de terbium (III) en présence de la solution nitrate de fer (III) à travers une membrane liquide supportée (SLM) a été étudiée en utilisant un mélange de D2EHPA et TOPO. La membrane hydrophobe du fluorure de polyvinylidène (PVDF) a été utilisée comme support solide. Le transfert de masse de ces cations a été déterminé en termes d'extraction du rendement (%) par mesure de la concentration de métal dans la solution d'alimentation. Les différents paramètres expérimentaux incluant le pH de l'alimentation, la concentration initiale, la force ionique, le temps d'extraction, ont été optimisés pour acquérir les conditions optimales pour l'extraction des ions de terbium (III) en présence du Fer (III). Le rendement d'extraction de la membrane supportée sans agitation obtenue montre qu'il est possible d'obtenir jusqu'à 79,6% pour le Terbium (III) et 28,8% pour le Fer(III) en 8 jours.

Mots-clés : Terbium (III), Fer (III), Membrane liquide supportée, D₂EHPA / TOPO.

Mixture Terbium (III) and iron (III) extraction through liquid-membrane impregnating using D2EHPA/TOPO as mobile carrier

Abstract

Selective extraction of Terbium (III) in the presence of iron (III) nitrate solutions through a supported liquid membrane (SLM) was investigated using a mixture of D2EHPA and TOPO as a carrier was studied. The hydrophobic membrane of polyvinylidene fluoride (PVDF) was used as a solid support. Mass transfer of these cations was determined in terms of yield extraction (%) by measuring the concentration of metal in the feed solution. The various experimental parameters including feed pH, initial concentration, ionic strength, extraction time were optimized to acquire the optimum conditions for the extraction of Terbium (III) sebacious ions in the presence of iron (III). The percentage of extraction using the supported membrane without stirring obtained shows that it is possible to obtain up to 79.6% for Terbium (III) and 28.8% for iron in 8 days.

Key Words: Terbium (III), Iron (III), Supported liquid membrane, D₂EHPA/TOPO

Introduction

L'extraction sélective et la séparation des éléments de terres rares (RE) de leur solution mixte présentent un grand intérêt pour les processus d'extraction en raison de la possibilité de récupérer les métaux précieux. En présence de fer en général cela nécessite des processus supplémentaires pour son élimination, générant des problèmes de pollution de l'environnement [1-2]. Les composés acides organophosphorés ont été largement identifiés pour l'extraction des éléments de terres rares, en raison de leur forte puissance d'extraction [3-4]. Tandis que le Fer (III) est également extrait à l'équilibre avec des éléments de terres rares. Ces extractants extraient également des complexes de Fer (III) avec des complexes de terres rares. Il est bien connu que le rendement d'extraction des éléments de terres rares est assez rapide, tandis que celui du Fer (III) est considérablement lent pour atteindre l'équilibre [5]. La technique des membranes liquides supportées (SLM) implique l'imprégnation d'une membrane poreuse avec un solvant non miscible à l'eau [6].

I. Expérimental

I.1. Réactifs

Membrane liquide difluorure de polyvinylidène microporeux (PVDF); porosité nominale de 70%, une taille de pore moyenne de 0,1 μm et une épaisseur totale de 125 μm (VVHP 04700). La membrane a été obtenue auprès de Millipore, en Allemagne. Nitrate de Terbium pentahydraté, nitrate de Fer anhydraté et Arsenazo ont été fournis par Sigma-Aldrich. Solutions d'alimentation de pH 2 à 6 sont ajustées avec de l'acide nitrique dilué ou de l'hydroxyde de sodium. L'oxyde de trioctylphosphine et le di (2-éthylhexyl) phosphate ont été dissous dans de l'éther diéthylique (Sigma Aldrich). Le tampon à pH = 4,0 est fourni par Prolabo.

2. Instruments

Spectromètre d'absorption atomique (PinAAcle 900H), spectromètre Uv-visible (SPECORD 210 plus) ont été utilisés pour l'analyse des résultats. Le support de membrane Millipore Durapore (VVHP04700), le compteur de température Consort C831 avec une électrode en verre combinée ont été utilisés pour la concentration d'ions de cuivre et de mesures de pH (Adwa).

3. Résultats et discussion

3.1. Effet de la concentration initiale

L'effet de la concentration initiale sur le rendement d'extraction du comportement Tb (III) et Fe (III) a été étudié dans la gamme de 10^{-4} à 10^{-3} M, Fig 1. Les rendements d'extraction en fonction du temps pour différentes concentration en métaux augmentent avec la diminution de la concentration initiale de Tb (III) et Fe (III) dans la phase d'alimentation. Le quantité de D_2EHPA / TOPO étant défini sur la membrane, la présence d'un excès de support sur la phase de la membrane par rapport à la concentration d'ions métalliques dans la phase d'alimentation [7], tous les paramètres ont été étudiés à la concentration 10^{-4} M pour les deux métaux.

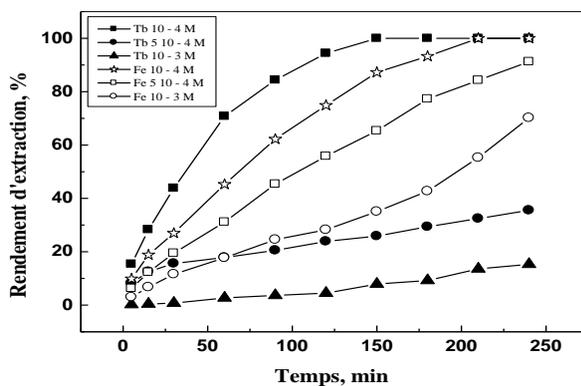


Figure 1. Effets de la concentration initiale de Terbium (III) et de Fer (III) sur le rendement d'extraction (III) par SLM; Épaisseur de membrane 125 μm ; Agitation = 900 tr / min; PH initial = 4; support: D_2EHPA / TOP (rapport molaire 1 / 0,4).

3.2. Effet de pH initial

Le rendement d'extraction des métaux Tb et Fe sur MLS en fonction de temps pour différentes valeurs de pH initiales de la phase d'alimentation est déterminé en maintenant les autres paramètres constants, à savoir le mélange de D₂EHPA et TOPO, la concentration des deux métaux est ajustée à 10⁻⁴ M, ainsi que la vitesse d'agitation et la température. Les courbes comparatives sont représentées sur la figure 2. Les courbes de rendement par rapport au pH possèdent une valeur maximale située à pH 6 pour les métaux Tb et Fe. En augmentant le pH initial, les courbes de pH deviennent plus larges et des différences plus importantes peuvent être observées entre les valeurs de rendement des deux métaux, entre le pH maximal et le pH minimum. Sur la figure 2. Les maximums sont déplacés vers des valeurs de pH plus élevées, c'est-à-dire à pH 6 pour Tb et Fe.

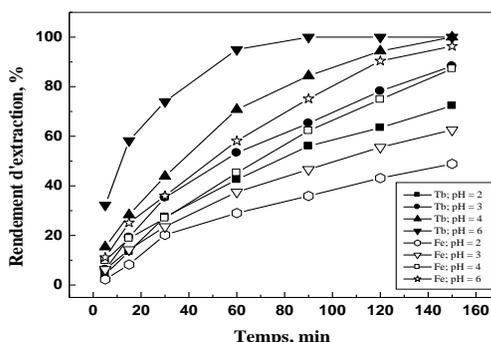


Figure 2. Effets du pH initial sur le rendement d'extraction du Terbium (III) et du fer (III) par SLM; Épaisseur de membrane 125 µm; Agitation = 900 tr / min; [Tb (III)] = [Fe (III)] = 10⁻⁴M; Support: D₂EHPA / TOPO (rapport molaire 1 / 0,4).

3.3. Effet de l'épaisseur de la membrane

L'effet de la variation de l'épaisseur de la membrane sur l'extraction de mélange Tb (III) et Fe (III) a été étudié à partir d'une solution d'alimentation (pH: 4,0; [Tb (III)] = [Fe (III)] = 10⁻⁴ M) à une épaisseur variable de la membrane. Avec l'augmentation de l'épaisseur de la membrane de 125 à 375 µm, le rendement d'extraction de Fe (III) augmente de 87,22 à 100% dans le SLM (Tableau 1), dans le cas de l'épaisseur de membrane de 125 µm, l'ion métallique du Tb (III) a diminué de 250 µm et a augmenté à 100%, ce résultat étant contrôlé par la diffusion ou le taux de réactions chimiques (complexation et décomplexation) aux interfaces membranaires-aqueuses [8], l'extraction a été réalisée en 150min. Pour une épaisseur de la membrane de 375 µm, l'extraction est quantitative.

Tableau 1. Extraction de Terbium et de Fer en fonction de la taille des pores de support.

Taille d'épaisseur de membrane (µm)	Terbium (III) Rendement (%)	Fer(III) Rendement (%)
125	100	87.22
250	94.10	91.25
375	100	100

3.4. Effet de la force ionique

L'effet de la force ionique sur le rendement d'extraction a été étudié: Terbium (III) et Fer (III) extraits par D₂EHPA / TOPO, avec augmentation de la quantité de NaCl et de KNO₃, dans la cellule du compartiment, de 0,1 à 1 M en 180 minutes. Les résultats exprimés en termes de rendement d'extraction sont représentés dans le tableau 2. Comme on l'a observé, le rendement d'extraction a un minimum, lorsque plus de sels sont ajoutés. À un faible ajout de sel, le rendement maximal des deux métaux était de 100% pour une concentration en NaCl de 0,5 M et une concentration de 0,1 KNO₃. Il est évident dans le tableau 2 qu'il y a un impact nul sur l'augmentation du rendement d'extraction du mélange de Terbium et de Fer. La présence de Na⁺ et K⁺ en solution joue un effet nul sur le rendement Tb³⁺ et Fe³⁺ par le D₂EHPA / TOPO. Ce qui implique une grande quantité de sel est ajouté, au-delà du blocage des pores au niveau de la membrane, donc l'influence de la force ionique sur l'extraction des métaux du mélange n'est pas importante.

Tableau 2.Effet de la force ionique

	NaCl 0,5 M	NaCl 1 M	KNO ₃ 0,1 M	KNO ₃ 0,5 M	Sans ajout
Terbium (R%)	100	80.29	100	82.33	100
Fer (R%)	91.21	31.25	87.62	59.25	87.22

Conclusion

Les études d'extraction ont montré que Tb (III) et Fe (III) peuvent être extraits d'une phase d'alimentation séparément par un système (oxyde de tri-octylphosphine et de di-(2-éthylhexyl) phosphate-éther diéthylique / membrane PVDF).

Les extractions de mélanges d'ions métalliques d'une phase d'alimentation avec des agents d'extraction organophosphorés sont contrôlées par la concentration initiale de la phase d'alimentation. Un rendement d'extraction élevé de ces ions métalliques est obtenu à faible concentration. Il convient de noter qu'à 10^{-4} M, on obtient un rendement d'extraction maximum (100%). L'étude de l'effet du pH initial dans l'extraction de SLM montre que, lors de l'augmentation du pH initial, le rendement d'extraction augmente pour les deux métaux, en raison des propriétés des agents d'extraction.

L'extraction a été évaluée sans agitation et une bonne performance relative dans les métaux extraits a été obtenue après une utilisation continue (pendant 8 jours) avec la même membrane.

Références

- [1] N.E. Belkhouche, M.A. Didi, R. Romero, J.A. Jonsson, D. Villemin, Study of new organophosphorus derivatives carriers on the selective recovery of M (II) and M (III) metals, using supported liquid membrane extraction, *J. Membr. Sci.*, **284** (2006) 398-405.
- [2] K. Akiba, M. Ito, S. Nakamura, Selective transport of yttrium(III) in the presence of iron(III) through liquid-membrane impregnating acidic organophosphonate mobile carrier. *J. Membr. Sci.*, **129**(1997) 9-17.
- [3] J.M. Joshi, P.N. Pathak, A.K. Pandey, V.K. Manchanda, Study on synergistic carriers facilitated transport of uranium(VI) and europium(III) across supported liquid membrane from phosphoric acid media, *Hydrometallurgy.*, **96** (2009) 117-122.
- [4] H. Xiaowei, L. Jianing, L. Zhiqi, Z. Yongqi, X. Xiangxin, Z. Zhaowu, Synergistic extraction of rare earth by mixtures of 2-ethylhexyl phosphoric acid mono-2-ethylhexyl ester and di-(2-ethylhexyl) phosphoric acid from sulfuric acid medium, *J. Rare. Earth.*, **26**(2008) 410-413.
- [5] K. Binnemans, P. T. Jones, B. Blanpain, T. V. Gerven, Y. Yang, A. Walton, M. Buchert, Recycling of rare earths: a critical review, *J. Clean. Prod.*, **51** (2013) 1-22.
- [6] L. Hernández, A. M. Bolarín, F. Sánchez, F. Patiño, I. Rivera, E. Salinas, Studies on Ion Transport of Eu (III) and Gd (III) Through Supported Liquid Membranes Containing Di-(2-ethylhexyl) Phosphate, as a Carrier, *J. Mex. Chem. Soc.*, **51** (2007) 113-116.
- [7] S. Panja, P. K. Mohapatra, S. C. Tripathi, and V. K. Manchanda, Transport of Thorium(IV) Across a Supported Liquid Membrane Containing N,N,N',N'-Tetraoctyl-3-oxapentanediamide (TODGA) as the Extractant, *Separ. Sci. Technol.*, **45**(2010) 1112-1120.
- [8] M. Anitha, D. N. Ambare, M. K. Kotekar, D. K. Singh, and H. Singh, Studies on Permeation of Nd (III) through Supported Liquid Membrane Using DNPPA + TOPO as Carrier, *Separ. Sci. Technol.*, **48**(2013) 2196-2203.

Simulation de la qualité de l'eau de mer de la zone côtière Oranaise par modélisation numérique en combinant avec les données multi-sources satellites.

Nacira Chabi Tahenni I, Fouzia Houma Bachari 2

¹ Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et l'Aménagement du littoral, Campus universitaire de Dely Ibrahim Bois des Cars B.P. 19 16320 Alger ALGÉRIE. Laboratoire « Ecosystèmes marins et littoraux » ENSSMAL, Alger, +213665149160, nacichabienssmal@gmail.com

² Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et l'Aménagement du littoral, Campus universitaire de Dely Ibrahim Bois des Cars B.P. 19 16320 Alger ALGÉRIE. Laboratoire « Ecosystèmes marins et littoraux » ENSSMAL, Alger, +213540142424, bacharifouzia.ocean@gmail.com

Résumé

La pollution marine suivie par une dégradation de l'écosystème marin notamment les zones côtières. Cette situation pousse de nombreux chercheurs à trouver des solutions pour endiguer cette pollution.

La présente étude se propose de suivre et de simuler la qualité de l'eau de mer de la zone côtière Oranaise (baie d'Oran et le Golf d'Arzew), située au Nord-Ouest d'Algérie, une zone industrielle importante. Pour atteindre cet objectif, cette étude s'appuie sur des données issues des compagnes en mer (mesure in situ et au laboratoire) et sur des images satellites, ainsi que le système d'information géographique (SIG) connu comme des outils de diagnostic et modélisation de l'espace. Deux régions côtières sont étudiées dans le cadre de cette thèse, la baie d'Oran et le Golf d'Arzew.

D'après les différents travaux réalisés sur cette zone montre qu'a une situation préoccupante due à une forte pression urbaine et industrielle le long de ces cotes. Selon [N.Bachari 2009]¹, l'indice de turbidité est retenu pour caractériser la qualité des eaux de mer superficielles.

Mots clés : pollution marine, zones cotières, chlorophylle-a, télédétection, SIG, modélisation numérique

Simulation of the quality of the seawater of the coastal zone Oranaise by numerical modeling by combining with data multi-sources satellites.

Abstract

Marine pollution followed by degradation of the marine ecosystem, particularly coastal areas.

This situation is pushing many researchers to find solutions to stem this pollution. La présente

étude se propose de suivre et de simuler la qualité de l'eau de mer de la zone côtière Oranaise

(Oran and the gulf of Arzew), Located in the north-west of Algeria, an important industrial area.

To achieve this objective, this study is based on data from the companions at sea (in situ and

laboratory measurements) and on satellite images, as well as the Geographic Information System

(GIS) known as diagnostic tools and space modeling. Two coastal regions are studied within the

framework of this thesis, the Golf d'Oran and Arzew. According to the various works carried out

on this zone shows that there is a worrying situation due to strong urban and industrial pressure

along these sides. According to N.Bachari 2009, the turbidity index is used to characterize the

quality of surface waters

Key Words: marine pollution, coastal zones, chlorophyll-a, teledetection, SIG, numerical modeling

Introduction

La zone côtière est un espace exigu, caractérisé par un linéaire considérable et par une pression humaine importante. Elle est le siège de multiples enjeux environnementaux, économiques et humains. Depuis quelques années, le littoral se « maritimise » de par une concentration croissante des usages en mer côtière [Gourmelon et Robin, 2005]². De cette situation résultent des conflits d'usages et d'accès aux ressources, difficilement gérables du fait d'une approche sectorielle des problèmes et d'une juxtaposition de statuts et de compétences administratives et juridiques. Partout dans le monde, la zone côtière apparaît comme un espace vulnérable où les événements pollution-marins se combinent à des pressions exercées par des activités humaines parfois conflictuelles, favorisant des risques d'origine naturelle et/ou anthropique. La région algéroise dont fait partie la baie d'Oran, objet de notre étude est une des zones où l'altération de la qualité des eaux marines côtières est la plus perceptible. Certains paramètres indicateurs de la pollution et de la pression démographique. L'utilisation simultanée des images satellites et des mesures locales permet d'effectuer une étude quantitative et qualitative [Bachari & Houma, 2006]³.

I. Situation géographique

La zone côtière Oranaise qui fait objet de notre étude est la deuxième ville d'Algérie et une des plus importantes du Maghreb. C'est une ville portuaire de la Méditerranée, située dans la partie ouest du littoral algérien, à 432 km de la capitale Alger entre 35° 41'27" Nord et 0°38'30" Ouest avec une superficie de 2128.50 km², délimitée territorialement selon la loi N° 84/09 du 04 Février 1984 portant organisation territoriale des wilayas comme suit : Au Nord par la mer Méditerranée ; au Sud-Est par la wilaya d'Ain Timouchent ; A l'Est par la wilaya de Mostaganem ; Au Sud par la wilaya de Sidi Bel Abbès. Elle représente un pôle d'attraction économique et industriel. Sa façade maritime est d'une longueur de 124 km, soit le 1/10 du littoral national, offrant d'importantes potentialités dans le domaine maritimes.

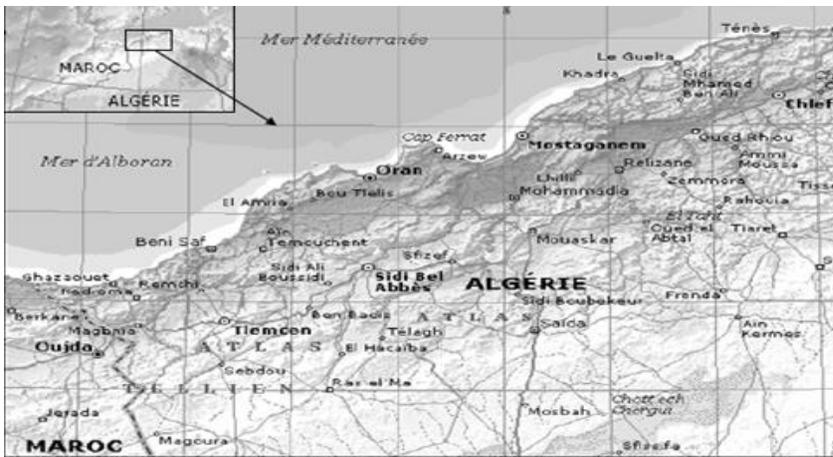


Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude.

I.1. La pollution et les pressions anthropiques à Oran

Présentant de nombreuses possibilités de développement, les zones côtières d'Oran et de Mostaganem se trouvent exposées à des pollutions, nuisances et autres dégradations résultant de multiples activités économiques [M. Kacemi, 2006]⁴. Les eaux littorales, et c'est notamment le cas à Oran sont ainsi soumises à différentes formes de pollution dont l'origine est la concentration urbaine et le développement socio-économique. [Z. Boutiba et al., 2003]⁵.

I.2. Sources de rejets dans la baie d'Oran

Les eaux usées de la ville d'Oran sont intégralement rejetées à la mer sans aucun traitement. On dénombre onze émissaires urbains (Fig.3). Huit se déversent dans le port même, mais sont de faible importance. Les trois principaux débouchent à l'extérieur du port. Il s'agit, à l'ouest, de l'émissaire de Fort Lamoune (E3) et, à l'est, de l'émissaire de la Cheminée du Petit Lac (E2) et du collecteur de ceinture du centre-ville et d'Oran-est (E1). Emissaire E1 lui seul, il évacuerait 80 % environ des rejets oranais (selon une communication orale des services d'assainissement de la Direction d'hydraulique d'Oran).

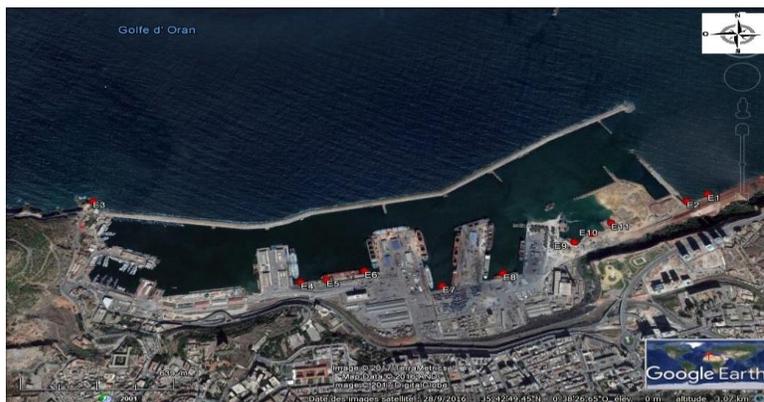


Figure 2. Localisation des sites de rejets urbains de la ville d'Oran (source : image Google earth modifiée).

2. Matériels et Méthodes

Pour caractériser l'état ou la qualité de l'eau de mer les informations des satellites peuvent être couplées à celles des mesures *in situ*, obtenues lors de campagnes océanographiques ou à partir de réseaux côtiers. Les observations des satellites permettent de cartographier la Température de Surface de la mer ou TSM [Saulquin et al. 2010]⁶, la chlorophylle, indicateur de la biomasse du phytoplancton, et la turbidité, indicateur des particules en suspension et de la clarté de l'eau. Elles complètent la description de l'état des couches profondes de l'océan qui ne peut être obtenue que par des mesures conventionnelles (température, salinité, sels nutritifs, oxygène) ou par modélisation. Deux séries de données sont utilisées pour la réalisation de cette recherche : des données campagne en mer et des données optiques. Des campagnes en mer sont organisées en vue de prélever un certain nombre d'échantillonnages, des mesures *in situ* et des analyses au laboratoire des différents paramètres indicateurs de pollution sont effectués. Le positionnement des points de prélèvements est possible grâce à l'utilisation du GPS. Les statistiques descriptives des paramètres physico-chimiques, les représentations graphiques des variations de chaque paramètre et leurs distributions spatiales créées avec le logiciel statistique le R. Il est à la fois un langage informatique et un environnement de travail, essentiellement gratuit et à code source ouvert (open-source). Ainsi le logiciel de cartographie Quantum GIS version 2.8 C'est un Logiciel de SIG entièrement libre et gratuit fonctionnant sur quasiment tous les systèmes d'exploitation, Il a l'avantage de pouvoir manipuler de nombreux formats de fichiers vecteurs et rasters (.tab, .gpx, .shp, .tif, .ecw...) grâce à l'utilisation de la bibliothèque Gdal et une excellente possibilité d'interaction avec d'autres logiciels (SAGA, GRASS...). Il offre de nombreuses fonctions de manipulation des informations géographiques comme la création, édition, analyse et personnalisation de cartes.

2.1. Méthodologie d'utilisation de QGIS

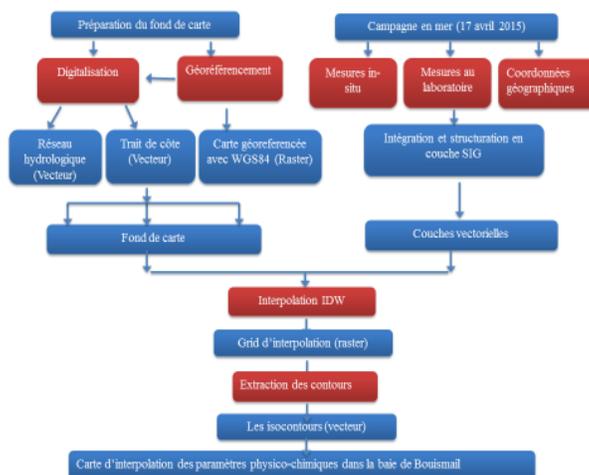


Figure 3. Méthodologie de la construction d'une carte d'interpolation.

2.2. Télédétection de la couleur de l'océan

La télédétection de la couleur de l'océan à débiter avec le lancement en 1978 du capteur expérimental Coastal Zone Color Scanner (CZCS) sur le satellite américain Nimbus 7, suite au succès de CZCS, d'autres capteurs furent lancés. [D. Antoine, 2000]. Selon Bukata et al, 1995, la mesure de la couleur de l'eau est basée sur le fait que les constituants organique ou inorganique particulaire ou des substances dissoutes dans l'eau de mer affectent sa couleur. Et d'après [Gohin et Oger-Jeanerret, 2006]⁸, le principe de cette mesure dépend des différentes particules en suspension (phytoplancton et sédiment), ainsi que de certaines substances dissoutes colorées (substances jaunes ou CDOM (Colored Dissolved Organic Matter)). Pour les eaux côtières selon [T. Blackburn, 1998]⁹, sont en général de la couleur verdâtre. Et que la couleur bleue de l'océan du à deux facteurs ; faibles latitudes et lorsqu'il y a peu de production biologique. De plus les composantes rouge et jaunes de la lumière solaire sont absorbées en quelques mètres, la seule composante susceptible d'être diffusée est donc le bleu. Dans les régions où la productivité biologique est importante, la chlorophylle contenue dans le phytoplancton absorbe la composante bleue et la lumière se décale vers le vert. L'analyse de cette couleur de l'eau se fait à l'aide de capteurs placés sur des plateformes satellitaires en orbite autour de la terre [Antoine, 2000]⁹. Les propriétés optiques d'une eau de mer, notamment les coefficients totaux d'absorption et de rétrodiffusion, résultent de la somme des contributions respectives des substances contenues dans l'eau (Sathyendranath et Morel, 1983).

$$\alpha(\lambda) = a_w(\lambda) + a_y(\lambda) + a_{ph}(\lambda) + a_s(\lambda).$$

$$b_b(\lambda) = b_{bw}(\lambda) + b_{bph}(\lambda) + b_{bs}(\lambda).$$

Où a_w , a_y , a_{ph} et a_s sont, respectivement, les coefficients d'absorption de l'eau pure (indice w), des matières organiques colorées dissoutes (MODC) ou substances jaunes (indice y), des particules phytoplanctoniques (indice ph) et des particules minérales (indice s) ; b_{bw} , b_{bph} et b_{bs} sont respectivement, les coefficients de rétrodiffusion de l'eau pure, des particules phytoplanctoniques et des particules minérales. La télédétection de la couleur de l'océan est généralement basée sur la télédétection optique avec des résolutions spatiales autour de 1 km.

3. Résultats et discussions

Suite à la campagne en mer dans la zone côtière de la baie d'Oran/Arzew, les analyses au laboratoire ainsi que les différents traitements de données, nous présentons les différents résultats trouvés.

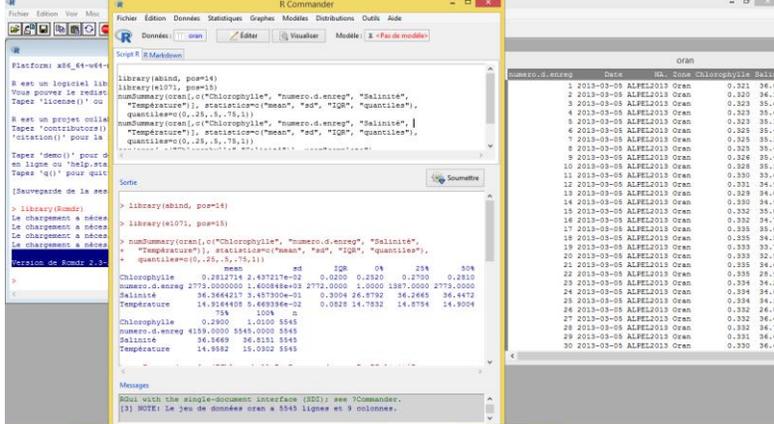


Figure 4. Présentation des analyses statistiques avec le logiciel statistique le R.

Tableau I. Analyses descriptives des données collectées. (ALPEL 2013).

Paramètres	Moyenne	Ecart type	Max	Min	Q2 (0%)
Chlorophylle	0.2812714	2.437217e-02	1.01	0.252	0.2520
Salinité	36.3664217	3.457300e-01	36.82	26.88	26.8792
Température	14.9164408	5.669396e-02	15.03	14.87	14.8754

Tableau 2. La moyenne des différents paramètres indicateurs de pollution mesurés (février 2017).

Paramètres	T	S	Tu	OD	pH	MES	MOP	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiO ₄
Moyenne	15.29	36.89	1.79	8.76	8.40	31.51	17.38	0.224	0.312	0.034	0.002

• **La température :**

Les valeurs de la température de surface des eaux sont comprises entre un minimum de 15,08°C et un maximum de 15,74°C pour les prélèvements qui ont été effectués le mois février 2017, avec une moyenne de 15,29 °C et un écart type de 0,112. Pour la campagne ALPEL 2013 effectuée en mois de Mars sur les 5545 points de prélèvements, les valeurs de la température des eaux sont comprises entre un minimum de 14.7832 °C et un maximum de 15.030°C. D'une manière générale, les températures enregistrées restent normales et témoignent du niveau thermique de la saison d'échantillonnage.

En surface, la température suit les variations climatiques. En effet, les eaux superficielles sont directement influencées par les conditions météorologiques et sont en contact direct avec l'atmosphère, ceci est particulièrement visible dans la carte des variations de la TSM a. On remarque un changement de la TSM proportionnel à l'élévation de la température atmosphérique aux différentes périodes de la journée.

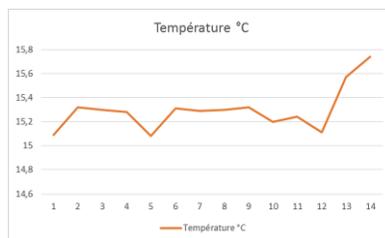
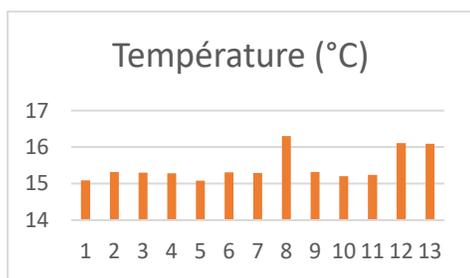


Figure 4 et 5. Histogramme et courbe de distribution spatiale de la température (°C) en surface de l'eau de mer.

- **Salinité :** Les valeurs de la salinité de surface des eaux sont comprises entre une valeur minimum de 36.6 PSU enregistrée dans la station 11 et une valeur maximum de 37.5 PSU au niveau de la station 1 avec une moyenne de 36,89 PSU et un écart type de 0,14.

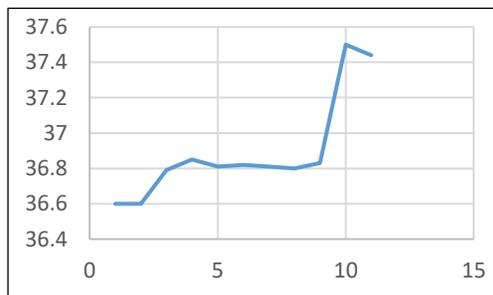
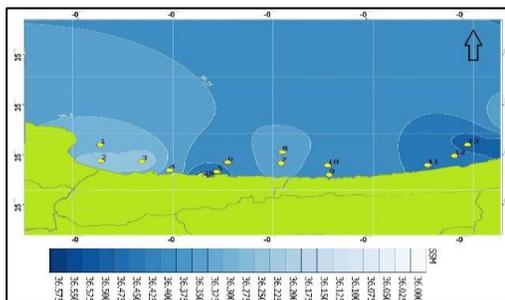


Figure 5. Carte de distribution spatiale de la salinité (PSU) en surface de l'eau de mer

Figure 6. Courbe de distribution spatiale de la salinité (PSU) en surface de l'eau de mer

- **La chlorophylle-a :** Les valeurs de la chlorophylle sont comprises entre une valeur minimum de 0,214 µg/l rencontrée dans de nombreuses stations (Fig.6) et une valeur maximum de 1,068 µg/l au niveau de la station 20, avec une moyenne de 0,4 µg/l et un écart type de 0,230. Nous avons remarqué que les fortes concentrations en chlorophylle-a correspondent à la zone de faible teneur en nitrites trouvés aux mêmes endroits (figure 6). Selon (Gaujous, 1995), les nitrites disparaissent vite en milieu naturel, la diminution de leur teneur est la conséquence de la consommation de ces nitrites par les micro-organismes lors de leur croissance. Les concentrations importantes de l'OD confirment aussi l'importance de la productivité primaire dans ces stations.

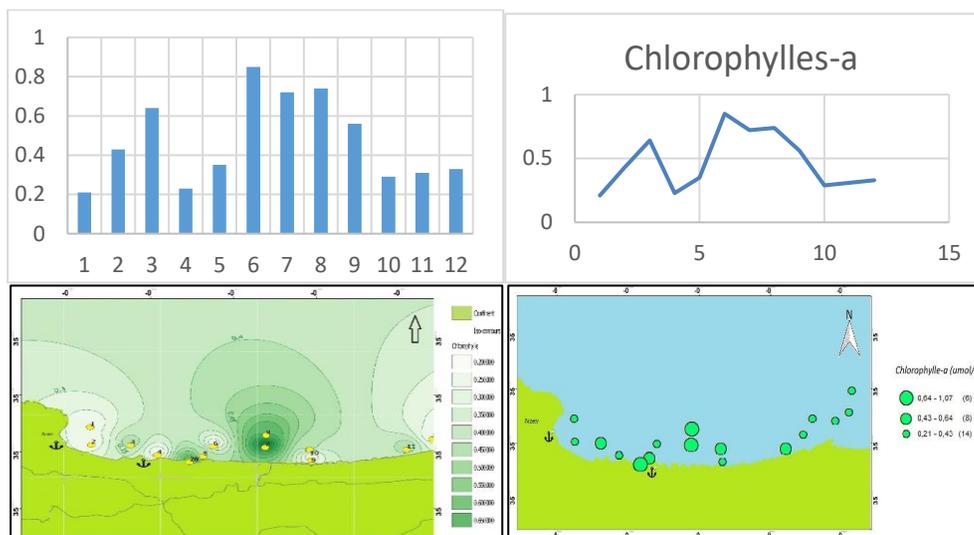


Figure 6. Distribution spatiale de la chlorophylle-a ($\mu\text{g/l}$) en surface de l'eau de mer.

Conclusion

Les résultats issus du traitement permettent d'avoir une approche statistique de la qualité de l'eau de mer (tableau : 1) et de mettre en évidence la dynamique des types d'altération de la qualité de l'eau de mer sur des échelles spatiales et temporelles différentes. Plusieurs auteurs [Grimes et Bakalem, 2010]^[10] [Boutiba et al. 2006]^[11] ont montré une pollution croissante dans l'ensemble du littoral algérien, en particulier dans les zones côtières des grandes villes à l'instar du littoral oranais. La principale pollution résulte d'une forte charge en matières en suspension caractérisées par leur richesse en particules non organiques qui ont pour origine la remise en suspension des sédiments du fond et ceux apportés par les effluents. Les rapports entre les concentrations des sels nutritifs semblent être très perturbés et les analyses ont montré une pollution de la zone Est de la baie par les phosphates. En outre, les concentrations excessives en chlorophylle-a suggèrent la consommation des nutriments par cette dernière lors de sa croissance. Les concentrations moyennes des matières en suspension, entre 17 mg/l (rejet industriel d'Oran) et 44 mg/l (rejet urbain d'Oran), approchent ou dépassent la valeur limite imposée par la législation en vigueur (35 mg/l). Les nombreux rejets d'eaux usées domestiques et industrielles et les activités anthropiques sur le littoral de la baie de d'Oran peuvent causer la dégradation de la qualité de ses eaux.

A ce stade de l'analyse spatiale et temporelle des différents paramètres indicateurs de pollution, on peut constater que le risque d'atteintes à la qualité de l'eau de mer est très important. Il s'avère donc primordial de trouver des solutions adéquates pour la conservation de l'environnement opérationnelles. Dans cette zone, principalement par la mise en place de stations de traitements des eaux

Références

- [1] N.Bachari, Apport des indices multi spectraux des images spot pour le suivi de la turbidité des eaux et l'occupation du sol par le couvert végétal des zones côtières, *INOC-IMST International workshop ICZM- Izmir-TURKEY*, (Octobre 2009), 20-22.
- [2] F. Gourmelon, M.Robin, *SIG et littoral*, éditions Hermès, traité IGAT, Paris, 2005, 327-328
- [3] N. Bachari, F.Houma, Approche SIG pour l'analyse de la pollution marine de la baie d'Alger : *Proceedings du premier congrès Méditerranéen d'Océanologie*, Sidi Fredj, Alger, Algérie, Novembre 20-22 (2006), pp 57-58
- [4] M. Kacemi Protection and development of the coastal areas in Algeria: legislation and instruments. The case of Oran's coastal areas, (2006).
- [5] Z. Boutiba, Baleines et dauphins d'Algérie, éditions : dar el Gharb, Oran, Algérie, 2003, pp. 44-65
- [6] B. Saulquin et al, Atlas de la température, de la concentration en chlorophylle et de la turbidité de surface du plateau continental français et de ses abords de l'Ouest européen (2010)
- [7] D.Antoine, Apport de la télédétection spatiale de la couleur de l'océan à l'océanographie, vol.24 No 2. (2000), pp. 81-150
- [8] F.Gohin, Mise au point de méthodes pour la surveillance du phytoplancton : Cartographie des biomasses phytoplanctoniques par télédétection - Convention 2009 - Action 11. (2010)
- [9] T. Blackburn, Flocculation and sedimentation in Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., eds, *Physical Processes*, Technomics Press, 1998, pp. 29-45
- [10] Grimes et al, peuplements benthiques des substrats meubles de la cote algérienne (2010)
- [11] Boutiba M., Géomorphologie dynamique et mouvements des sédiments le long de la côte sableuse jijelienne (Est Algérie) ; Thèse de doctorat d'Etat en science de la Terre, Géomorphologie, Université des sciences et de Technologie HB, Alger. 252P (2006)

L'application de la Loi de Darcy pour le calcul de débit d'alimentation de la nappe de la Djefara par la nappe du Continental Intercalaire

Emna Chidmi¹, Mounira Zammouri²

¹Faculté des Sciences de Tunis, Laboratoire de Ressources géologiques et environnement, Département de Géologie, Campus Universitaire El Manar, 1060 Tunis, Tunisie ; Téléphone : 20879728 ; adresse électronique : emnachidmi@gmail.com

²Faculté des Sciences de Tunis, Département de Géologie, Campus Universitaire El Manar, 1060 Tunis, Tunisie ; Téléphone : 71 872 600 ; adresse électronique : z_mounira@yahoo.fr

Résumé

Le système aquifère de la Djefara qui est essentiellement composé de formations d'âge Crétacé supérieur et Tertiaire est alimenté par l'importante nappe du Continental Intercalaire (CI) d'âge Crétacé inférieur via le faisceau de failles El Hamma, qui a joué en décrochement pendant le Crétacé supérieur. Dans la zone de communication entre le CI et la Djefara, la circulation se produit le long des failles majeures qui bordent les grabens et les failles décrochantes majeures. Dans cette zone, le suivi de la différence de la charge hydraulique de la nappe du CI et celle de la Djefara montre une diminution au cours des années. En fait, cette différence de charge passe de 144 m en 1959 à 107 m en 1974 pour atteindre à la fin des années 90 une valeur de 46 m. L'application du modèle de Darcy pour le calcul du débit d'échange entre les deux nappes indique une forte réduction de 3.6 m³/s en 1960 à 0.9 m³/s en 2002.

Mots clés : Nappe côtière de la Djefara, Nappe du Continental Intercalaire, Exploitation, Niveau piézométrique, Gradient hydraulique, Débit.

The application of Darcy's law for the calculation of the Continental Intercalaire aquifer inflow to the Djefara aquifer

Abstract

The Djefara aquifer system that is essentially composed of Tertiary and Upper Cretaceous age formations is recharged by the large aquifer of the Continental Intercalaire (CI) of Lower Cretaceous age via the network of faults El Hamma, which played in strike-slip during the Late Cretaceous. In the communication area between the CI and Djefara, groundwater flow occurs along major faults and grabens that line the major strike-slip faults. In this zone, monitoring the difference in the hydraulic head of the web of the CI and that of Djefara shows a decrease over the years. In fact, the difference in charge decreased from 144 m in 1959 to 107 m in 1974 and reached 46 m in the end of the 90's. The application of the Darcy model for the calculation of the exchange rate between the two layers indicates a strong reduction of 3.6 m³/s in 1960 to 0.9 m³/s in 2002.

Key Words : Coastal Djefara aquifer, Continental Intercalaire aquifer, Exploitation, Piezometric level, Hydraulic gradient, Flow.

Introduction

Le système aquifère de la Djefjara qui se trouve au Sud-Est de la Tunisie, est essentiellement composé de formations d'âge crétacé supérieur et tertiaire. Il est alimenté en grande partie par l'importante nappe du Continental Intercalaire (CI) d'âge Crétacé inférieur via le faisceau de failles El Hamma, qui a joué en décrochement pendant le Crétacé supérieur. Le débit de déversement de la nappe du CI dans celle de la Djefjara est régi par le gradient hydraulique entre les deux nappes. Le suivi piézométrique des deux nappes du CI et de la Djefjara indique que la différence de charge hydraulique entre les deux nappes dans la zone de communication diminue au cours des années. La diminution de gradient hydraulique entre les deux nappes impliquant une réduction du débit de fuite du CI vers la Djefjara souligne son effet néfaste sur l'état des ressources en eau souterraines de la Djefjara.

1. Cadre d'étude

La nappe côtière de la Djefjara Tunisienne est une vaste plaine où affleurent sur de grande étendue des dépôts Mio-Plio-Quaternaires, elle se trouve dans la partie SE de la Tunisie et dans la partie septentrionale du Sahara. Cette nappe se caractérise par un climat appartenant à 3 étages bioclimatiques (aride inférieur et supérieur et saharien supérieur) et présente une pluviométrie irrégulière et intense dont la moyenne pluviométrique régionale varie entre 120 mm et 224 mm [1]. Le secteur d'étude de la nappe de Djefjara fait partie du sud tunisien (fig.1), il est considéré comme un domaine tectoniquement stable vu son appartenance à la plateforme saharienne. Il est limité par différents domaines morpho-structuraux qui sont les suivants : la plaine côtière de la Djefjara tuniso-libyenne, la zone plissée sud-atlasique (la chaîne Nord des Chotts), la zone des Chotts et le plateau du Dahar [2].

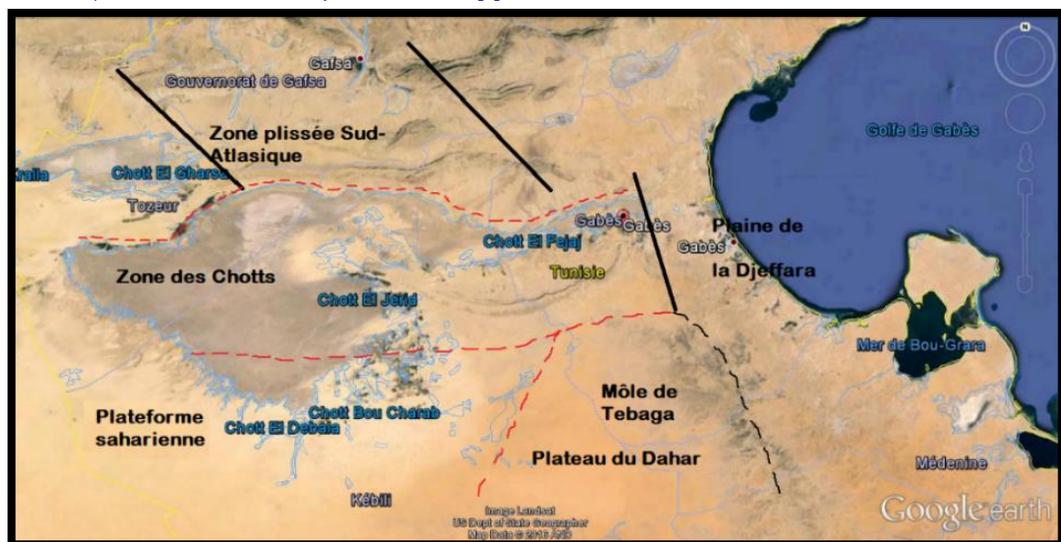


Figure 1. Carte des domaines morpho-structuraux de la zone d'étude

2. Exploitation

L'exploitation des ressources souterraines depuis les années 70, s'est intensifiée vu l'augmentation des différents besoins. Le rabattement du niveau piézométrique de la nappe de la Djefjara et la diminution de l'artésianisme ont augmenté par l'intensification de l'exploitation pendant les trente dernières années [3].

L'exploitation de la nappe de la Djefjara depuis 1950 et jusqu'à 2012 n'a pas cessé de croître (fig.2) suite à l'exploitation excessive dans les différents domaines tels que l'agriculture et le tourisme. En effet, en 1950 l'exploitation était de 28 Mm³ et a augmenté progressivement pour atteindre des valeurs de l'ordre de 63 Mm³ en 1975. Depuis 1985, cette nappe connaît des pics importants d'exploitation (93 Mm³ en 1987, 95 Mm³ en 1989, 101.5 Mm³ en 1997). Actuellement, les prélèvements se situent autour de 106.5 Mm³.

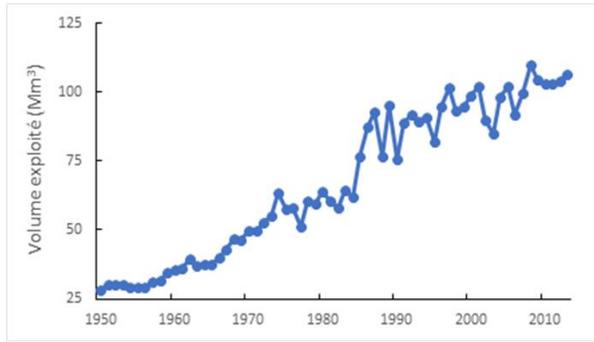


Figure 2. Exploitation de la Djefgara de Gabès (1950-2012)

3. Contribution du CI dans l'alimentation de la Djefgara

La quantification de la contribution de la nappe du CI dans l'alimentation de la nappe de la Djefgara repose essentiellement sur l'analyse de l'évolution piézométrique de deux nappes et l'application de la loi de Darcy. D'après la figure 3, les courbes de tendance de la nappe de CI (qui sont présentées par les forages Douz, Bhaier, CF I bis, Seftimi, Souk Lahad et Zemlet el baidha) mettent en évidence la forte charge hydraulique du CI par rapport à de la nappe de La Djefgara dans le secteur Chenchou-El Hamma au cours des années 60 mais qui a fortement diminué au cours du temps.

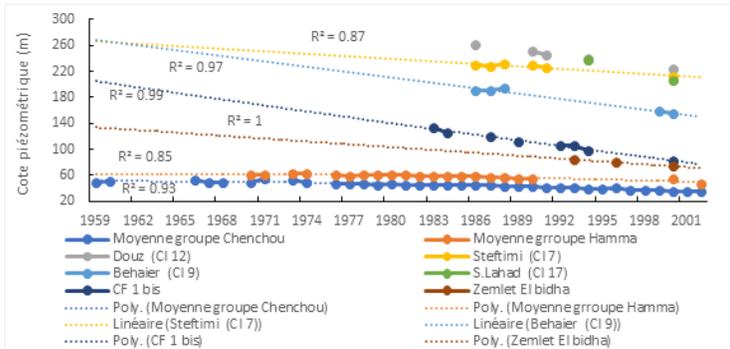


Figure 3. Historique piézométrique des forages du CI et de la Djefgara dans le secteur Chenchou-El Hamma

4. Méthodologie

Pour quantifier la contribution de la nappe du CI dans l'alimentation de la nappe côtière de la Djefgara, on a appliqué un modèle simple représenté par la loi de Darcy. Le débit d'alimentation est calculé par la formule suivante :

$$Q = K \text{éq} \times A \times \left(\frac{h(\text{CI}) - h(\text{Djefgara})}{b} \right) \quad (1)$$

Où Q est le débit rejoignant la nappe de la Djefgara, (m³/s) ; Kéq (m/s) et b (m) sont respectivement la perméabilité équivalente et l'épaisseur des horizons géologiques séparant les deux aquifères et qui sont le siège d'un écoulement vertical en provenance du CI et rejoignant la Djefgara ; h désigne la charge hydraulique, (m) et A la surface de contact entre les deux nappes, (m²).

$$K \text{éq} = \frac{\frac{e(\text{ci})}{2} + e(\text{semiperméable1}) + e(\text{semiperméable2}) + e(\text{semiperméable3}) + \frac{e(\text{djf})}{2}}{\left(\frac{e(\text{ci})}{2} \right) \left(\frac{1}{K(\text{ci})} + \frac{e(\text{semiperméable1})}{K(\text{sp1})} + \frac{e(\text{semiperméable2})}{K(\text{sp2})} + \frac{e(\text{semiperméable3})}{K(\text{sp3})} + \frac{e(\text{djf})}{2} \right)}$$

Où e (ci), e (semiperméable1, 2,3) et e (djf) sont respectivement les épaisseurs de la nappe du CI, des trois semiperméables (qui sont intercalés entre la nappe du CI et celle de la Djefgara) et l'épaisseur de la nappe de la Djefgara (m) ; Kci, K (sp1, sp2, sp3) et K (djf) sont respectivement les perméabilités des aquifères précédemment cités (m/s). Les semi-perméables intercalés entre l'aquifère de la Djefgara et celui du CI, ont successivement les âges suivants : Aptien-Albien, Cénomanien et Turonien et ont les épaisseurs respectives suivantes : 31.25 m, 1073 m et 581.2 m.

5. Résultats et interprétations

L'application du modèle de Darcy pour le calcul du débit d'échange entre les deux nappes indique une forte réduction de 3.6 m³/s en 1960 à 0.9 m³/s en 2002 comme le montre la figure 4.

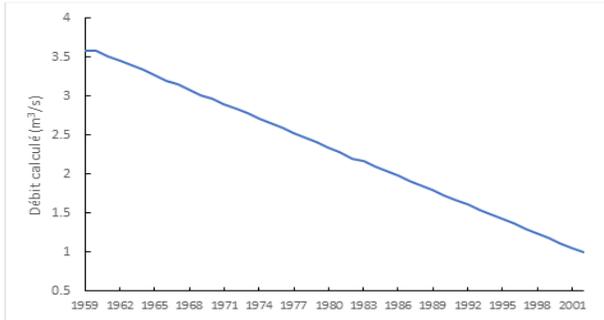


Figure 4. La variation du débit d'alimentation de la Djefara par le CI

Cette réduction est due à la différence de charge hydraulique entre la nappe du CI et celle de la Djefara comme le montre l'équation (1). Cette différence de charge hydraulique entre les deux nappes est à l'origine de l'alimentation de l'ensemble des formations hydrogéologiques formant la nappe côtière par celle du Continental Intercalaire. En effet, une partie des eaux du Continental Intercalaire est fortement en charge par rapport à la Djefara (fig.5), par la présence de réseaux de faille qui existe dans le secteur de El Hamma-Chenouch. Le suivi de cette différence montre une diminution au cours des années. En fait, cette différence de charge passe de 144 m en 1959 à 107 m en 1974 pour atteindre à la fin des années 90 une valeur de 46 m.

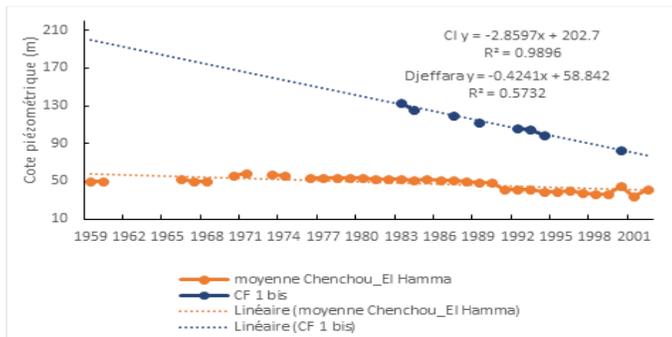


Figure 5. Historique piézométrique des points d'eau d'El Hamma-Chenouch et du forage CF I bis dans la zone de contact entre la Djefara et le CI

Conclusion

La nappe de la Djefara est un système multicouche complexe de point de vue lithologique et structural par sa structuration en horst et graben et l'effondrement de la plaine. Cette nappe témoigne des signes de forte exploitation voire même surexploitation suite aux différents besoins qu'elle doit fournir (urbanisation, irrigation, tourisme, industrie). L'accroissement de l'exploitation a affecté directement le niveau piézométrique qui n'a pas cessé de diminuer. Il peut éventuellement contribuer à détériorer aussi la qualité chimique de l'eau souterraine. Le risque d'avancée du front marin salé vers la côte s'accroît avec le développement du pompage dans les oasis, est une préoccupation qui nécessite le contrôle de l'exploitation de la nappe et de surveiller la salinité.

Références

- [1] Centre National des Etudes Agricoles (CNEA), Etude d'impact environnemental et social. Projet de développement agricole intégré de Gabès 2^{ème} phase, 2013.
- [2] M. Ben Alaya, Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et potentialités hydrogéologiques du système aquifère de Gabès Nord et ses alentours (SE Tunisie), Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de Tunis 2014.
- [3] R. Trabelsi, Caractérisation hydrogéologique et géochimique du système aquifère de la Djefara (sud-est tunisien) : modélisation et intrusion marine, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax 2009.

Etude de l'efficacité de la sorption de La(III) sur une nouvelle résine phosphonate à partir des solutions aqueuses

Houria BENDIAF, Omar ABDERRAHIM, Mohamed Amine DIDI

Université de Tlemcen; Département de chimie; Laboratoire des Technologies de Séparation et de Purification; BP 119-Tlemcen- Algérie, Tel: 213697230808, houria.bl@live.fr

Résumé

Cette recherche traite de la sorption de Lanthane(III) sur une résine phosphonate synthétisée à partir de la résine de Merrifield et de la polyéthylèneimine. Divers paramètres physico-chimiques, tels que la concentration initiale en La(III), le pH, la force ionique et le temps d'agitation, ont été testés pour évaluer la performance de la résine dans l'élimination de La(III). Le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre de sorption de La(III) est de 30 min, un rendement d'extraction optimal a été atteint à un pH initial égal à 4,9. Les données thermodynamiques conduisent à un processus endothermique et spontané. L'éluion quantitative du lanthane peut se faire par l'acide sulfurique.

Mots clés : Lanthane(III), sorption, résine phosphonate, étude cinétique, étude thermodynamique

Sorption efficiency of La (III) from aqueous solutions on a new phosphonate resin

Abstract

In this research the sorption of Lanthanum (III) on a new phosphonate resin is reported. Various physico-chemical parameters, as the initial concentration of La (III), pH, ionic strength, contact time were studied to evaluate the performance of this resin in the removal of La (III). The time required for the resin to reach La (III) sorption equilibrium was 30 min; an optimum extraction yield was obtained at an initial pH equal to 4.9. Thermodynamic data lead to an endothermic and spontaneous process. Quantitative elution study of lanthanum can be carried out with sulfuric acid.

Key Words: Lanthanum, sorption, phosphonate resin, kinetic study, thermodynamic study

Introduction

Le lanthane est l'un des éléments des terres rares, qui est un terme collectif pour les éléments du lanthane au lutétium de numéros atomiques compris entre 57 et 71 dans le tableau périodique [1]. L'élément a un nombre atomique de 57, une masse atomique de 138,91 un état d'oxydation principal (+3) et deux isotopes naturels (^{138}La et ^{139}La), dont ^{139}La est le plus abondant à plus de 99,9%. La toxicité du La(III) et des terres rares, en général, est considérée comme modérée à faible. L'injection de solutions de Lanthane(III) peut provoquer l'hyperglycémie, une pression artérielle faible, une dégénérescence de la rate et des altérations hépatiques, entraînent parfois une pneumoconiose [2,3,4]. La récupération du Lanthane(III), de solutions aqueuses, est considérée indispensable pour deux raisons : la dépollution de l'environnement et la valorisation de ce métal. Cette recherche porte sur la sorption du Lanthane(III) par une nouvelle résine phosphonate. La technique d'extraction utilisée est l'extraction en phase solide. Le dosage du Lanthane, avant et après extraction, est effectué par spectrophotométrie UV-Visible à $\lambda_{\text{max}} = 658 \text{ nm}$ spécifique au complexe Lanthane(III)-Arsenazo III.

I. Expérimental

I.1. Réactifs

Les réactifs et les solvants utilisés dans les différentes étapes de notre étude sont: Sel du Lanthane(III) $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, (FLUKA), Acide chlorhydrique HCl, 37%, (ORGANICS), Acide sulfurique H_2SO_4 , 95%, (FLUKA), Hydroxyde de sodium NaOH, (SIGMA), Acide nitrique HNO_3 , 69% (SIGMA-ALDRICH), Arsenazo (III) ($M = 776,36 \text{ g/mol}$), (MERCK), Acétate de l'ammonium $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_2$, Nitrate de sodium NaNO_3 , Thiosulfate de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, Chlorure de sodium NaCl, Cyanure de potassium KCN, Chlorure de potassium KCl, Thiocyanate de potassium KSCN.

I.2. Appareils et matériels utilisés

Les mesures de pH ont été effectuées sur un pH-mètre utilisant une électrode combinée de marque (Adwa), un spectrophotomètre d'absorption atomique UV-Visible type (SPECORD 210/plus) a été utilisé pour le dosage de La(III). L'agitation est assurée par un agitateur mécanique à plateforme agitatrice multiposte (Haier) et/ou un Vortex de marque (IKA).

I.3. Procédure d'extraction et d'analyse

La méthode d'extraction consiste à mélanger, dans des erlenmeyers avec bouchon, de 5 mL de solution La(III) de concentration connue et de 0,05 g de résine phosphonate. Après séparation des deux phases liquide et solide, le La(III) présent dans la phase est quantifié par le spectromètre UV-visible. L'analyse est faite à $\lambda_{\text{max}} = 658 \text{ nm}$ pour le mélange formé de 100 μL de La(III), 100 μL d'Arsenazo III (10^{-3} M) et 2 mL d'un tampon acétique à pH = 3,3 [5]. Le pourcentage d'ions lanthane(III) sorbé est déterminé par l'équation 1 suivante.

$$R(\%) = \frac{C_i - C_t}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

La quantité de métal sorbé au temps t , q_t (mg/g) est calculé par l'équation 2.

$$q_t(\text{mg/g}) = \frac{(C_i - C_t)}{m} \times V \quad (2)$$

Où C_i et C_t sont respectivement la concentration initiale et à l'instant t de La(III) (mg/L). V est le volume de la solution (5 mL). m est la masse de la résine fonctionnalisée utilisée (0,05 g).

2. Résultats et discussions

2.1. Effet du temps d'agitation

Pour étudier l'effet du temps d'agitation, nous avons calculé la capacité de sorption, de La(III) par cette résine, à différents temps d'agitations (figure 1). De cette courbe, on voit que l'efficacité de l'extraction augmente rapidement avec l'augmentation du temps d'agitation et le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre de sorption est de 30 minutes avec une capacité de sorption égale à 0,998 mg/g.

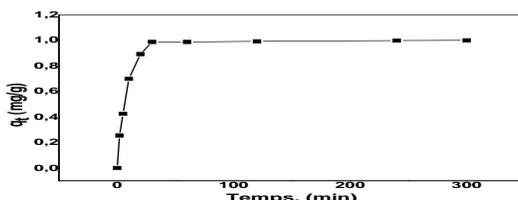


Figure 1. Evolution de la capacité de sorption de La(III) en fonction du temps, [La(III)]_i = 5.10⁻⁴ M, V= 5mL ; m = 0,05 g, vitesse d'agitation (Φ) = 310 rpm, T = 22 ± 1 °C.

2.2. Effet du pH

La sorption du Lanthane(III) par la résine a été étudiée à différents pH allant de 1,3 à 6,7 et les résultats sont présentés dans la figure 2. La capacité de sorption augmente avec l'augmentation du pH et atteint une valeur maximale à pH = 4,9. A pH > 4,9, la capacité de sorption diminue par formation de complexes plus stables en phase aqueuse ou de charges positives moins importantes à cause de l'apparition de formes hydroxydes de La(III).

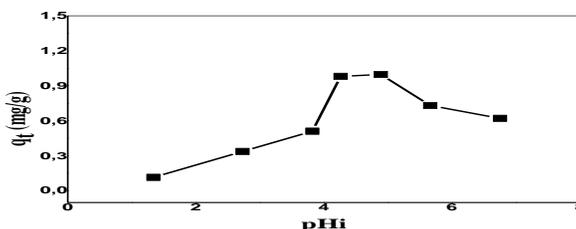


Figure 2. Effet du pH initial de la phase aqueuse sur l'évolution de la capacité de sorption de La(III) par la résine, m=0,05 g, [La(III)]_i = 5.10⁻⁴ M, V= 5 mL, Φ = 310 rpm, T = 22 ± 1 °C.

2.3. Effet de la concentration initiale en La(III)

Plusieurs expériences ont également été entreprises pour étudier l'effet de la variation de la concentration initiale de Lanthane(III) sur sa sorption à l'équilibre (q_e). Les résultats obtenus sont résumés dans la figure 3 suivante.

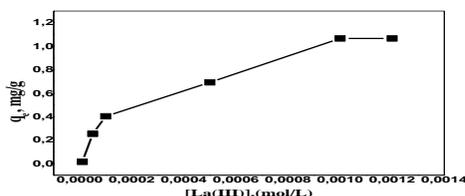


Figure 3. Effet de la concentration initiale en La(III) sur sa capacité de sorption, V = 5 mL ; m = 0,05 g, Φ = 310 rpm, T = 22 ± 1 °C.

La quantité de La(III) sorbée, par unité de masse de résine phosphonate, augmente avec l'augmentation de la concentration du métal jusqu'à saturation totale des groupements actifs et disponible pour l'interaction avec le La(III). La comparaison de l'efficacité de cette résine avec d'autres matériaux sorbants montre la possibilité de son application dans la rétention du La(III) Voir tableau I.

Tableau I. Capacité de sorption de quelques matériaux sorbants cités dans la littérature.

Sorbant	Capacité de sorption, n	Référenc
Notre résine	1,06	-
XAD-4/Aliquat 336	4,73	6
silica SBA-15/tungstophosphate	11,60	7
SnO ₂ -TiO ₂ nanocomposites	4,96	8
Granitic biotite	2,09	9

2.4. Effet de la température

L'étude de l'effet de la température sur la sorption de La(III) est réalisée en effectuant des extractions aux températures suivantes : 23, 30, 40 et 50 °C. Cette étude nous a permis de déterminer les différents paramètres thermodynamiques (ΔH° , ΔS° et ΔG°). Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 2. L'étude montre que la sorption du lanthane(III) par la résine phosphonate est un processus endothermique et spontané, soutenu par les valeurs positives de ΔH° et ΔG° . La diminution des valeurs de ΔG° avec l'augmentation de température montre que la sorption est plus favorable à des températures plus élevées.

Tableau 2. Paramètres thermodynamiques pour la sorption de La (III)

	ΔH° , kJ	ΔS° , J/m	T, K		
			29	30	30
L	+102.	+371.	ΔG° , kJ/mol		
			-7	-8	-1

2.5. Etude de désorption

Afin d'étudier le comportement d'élué de La(III) à partir des expériences d'élué ont été réalisées en utilisant divers agents élué, à savoir H_2SO_4 , HNO_3 et HCl d'une concentration de 1,0 M. Les obtenus sont résumés dans la figure 4 suivante :

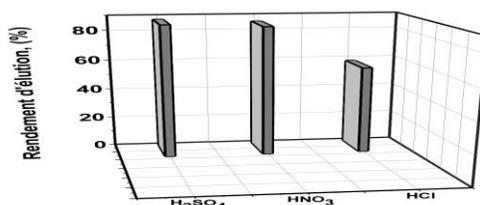


Figure 4. Effet de la nature de l'élué sur la désorption de La(III) sorbe sur la résine phosphate, $m = 0.05g$, $v = 5.0 mL$, $[Acide] = 1.0 mol/L$, temps d'élué = 4 h, $\theta = 310$ tpm, $T = 22 \pm 1$ °C

La figure 4, montre que l'acide sulfurique est l'acide le plus performant dans l'élué de La(III) sorbé sur la résine phosphonate (rendement supérieur à 95%).

Conclusion :

Dans cette étude, la sorption de La(III) est faite sur une nouvelle résine phosphonate. L'efficacité de la sorption est déterminée en fonction de divers paramètres tels que le temps, le pH initial, la concentration en lanthane, la température et la force ionique. L'équilibre de la sorption est atteint après seulement 30 minutes. La capacité de sorption maximale a été obtenue à partir d'une solution de pH initial égal à 4,9. Une désorption du lanthane(III) à plus de 95% peut se faire avec l'acide sulfurique 1,0 M après 4 h d'agitation.

Références

- [1] C.Marchal, Complexes polymétalliques de lanthanides(III) pour le développement de nouveaux matériaux luminescents, Thèse de doctorat d'état, Université Joseph Fourier, Grenoble I 2008.
- [2] S. L. Srinivas, Gampala, H. Dik, D. R. Christopher, Functional Interactions of Lanthanum and Phospholipase D with the Abscisic Acid Signaling Effectors VPI and ABI1-1 in Rice Protoplasts, *J. bio. Chem.* 276 (2001) 9855–9860.
- [3] J.B. Ghasemi, E. Zolfonoun, Simultaneous spectrophotometric determination of trace amounts of uranium, thorium, and zirconium using the partial least squares method after their preconcentration by α -benzoin oxime modified Amberlite XAD-2000 resin, *Talanta*, 80 (2010) 1191-1197.
- [4] A. Trovarelli, Catalysis by ceria and related materials, *Imperial College, J. Am. Chem. Soc.* 124 (2002) 12923–12924.
- [5] A.Kadous, Extraction de l'ion Uranylé par procédés d'extractions Solide- Liquide & membrane liquide supportée, Thèse de doctorat d'état, Université Tlemcen 2011.
- [6] A. Ahmad, J.A. Siddique, M.A. Laskar, R. Kumar, S.H. Mohd-Setapar, A. Khatoun, R.A. Shiekh, New generation Amberlite XAD resin for the removal of metal ions, *J. Environ. Sci.* 31(2015) 104-123.
- [7] M. Ahmadi, R. Yavari, A.Y. Faal, H. Aghayan, Preparation and characterization of titanium tungstophosphate immobilized on mesoporous silica SBA-15 as a new inorganic composite ion exchange for the removal of lanthanum from aqueous solution, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 310 (2016) 177-190.
- [8] M.M. Rahman, S.B. Khan, H.M. Marwani, A.M. Asiri, SnO_2-TiO_2 nanocomposites as new adsorbent for efficient removal of La(III) ions from aqueous solutions, *J. Taiwan. Inst. Chem. E.* 45(2014) 1964-1974.
- [9] P.Misaeldes, A. Godelitsas, S. Harissopoulos, I. Anousis, Interaction of granitic biotite with selected lanthanides and actinides, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 247 (2001) 325-328.

Problématique des eaux potables dans les hautes plaines occidentales (Saida Algérie).

Mimouni oumria I,

I Doctorante Université, Institution Université d'Oran 2 Mohamed ben Ahmed 31000
Oran. Algérie +2136.70.47.66.14 m_oumer2002@yahoo.fr

Résumé

Les ressources en eau en Algérie sont limitées et l'état de leur exploitation et de leur abondance dans la nature est inégal à travers tout le territoire national. Si nous considérons que ces ressources sont relativement disponibles dans la partie Nord et l'Est du pays, elles sont rares dans l'Ouest et surtout dans les hautes plaines occidentales. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants.

Les ressources en eau subissent des pressions de jour en jour. A cet effet Il nous faut plus d'informations fiables sur la quantité et la qualité d'eau disponible dans la région des hautes plaines occidentales ainsi que sur la manière dont cette disponibilité varie dans le temps et d'un endroit à un autre, la connaissance des ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion durable.

Mots-clés : Bassins hydrographiques, potentialités importantes, approvisionnement en eau potable, gestion des ressources ; wilaya de Saida.

Problems of drinking water in the high western plains (Saida Algeria).

Abstract

Water resources in Algeria are limited and the state of their exploitation and abundance in the country is uneven across the national territory. If we consider that these resources are relatively available in the Northern and eastern parts of the country, they are rare in the West and especially in the high western plains. The exploitation of these resources is very intense with the growing needs. Water resources are under pressure from day to day. To this end, we need more reliable information on the quantity and quality of water available in the high western plains region and how this availability varies over time and from one place to another. Knowledge of water resources is the prerequisite for good sustainable management.

Key Words: Watersheds, important potentialities, drinking water supply, resource management; Wilaya of Saida.

Introduction

Par leur constitution géographique et géologique les monts de Saïda et la partie sud de la wilaya qui est une zone steppique caractérisée par un climat semi-aride demeurent la région la plus démunie en ressources en eau. Les écoulements sont caractérisés par une irrégularité saisonnière et interannuelle importante, les potentialités en eau souterraine et superficielle sont faibles. À l'instar des wilayas des hautes plaines occidentales algériennes, la wilaya de Saïda a souffert d'un manque d'eau potable remarquable due à la croissance de la population humaine, du développement socio-économique et l'extension des activités agricoles et pastorales. Les ressources en eau sont insuffisantes pour satisfaire les besoins et ne répondent pas aux demandes croissantes, la wilaya de Saïda n'a pu supporter le déficit en eau, c'est dans cette optique que les organismes gestionnaires ont fait appel au transfert d'eau à partir de la nappe du Chott Chergui, située au sud de la wilaya à Aïn Skhouna. Afin de protéger la nappe des eaux minérales de Saïda et l'amélioration de l'approvisionnement en eau potable cette eau saumâtre est exploitée sur une longueur de 100 km pour couvrir le déficit enregistré ces dernières décennies. Les ressources mobilisées sont de 97.559 m, la consommation des ressources en eau se partage principalement entre l'approvisionnement de la population (environ 40%) et l'irrigation (60%) la question qui se pose est : comment établir un équilibre à long terme entre la disponibilité des ressources et la demande ? L'eau de Aïn Skhouna est-elle conforme aux normes qualitatives et peut-elle satisfaire les besoins de la population ?

I. Situation des ressources en eau d'un territoire de hauts plateaux occidentaux, atouts et contraintes cas de Saïda.

I.1. Présentation générale de la wilaya de Saïda :

La wilaya de Saïda est située au Nord-Ouest de l'Algérie elle fait partie des hautes plaines occidentales, elle est à cheval entre l'atlas tellien représenté par les monts de Saïda et les monts de Daïa et le début de la steppe, presque à la limite de Chott Chergui (nord des Hauts Plateaux). Administrativement la Wilaya est limitée par la wilaya de Mascara au Nord, au Sud la wilaya d'El Bayadh, à l'Ouest par Sidi Bel-Abbes et à l'Est par la wilaya de Tiaret elle s'étend sur une superficie de 6765,40km², la wilaya de Saïda est subdivisée en 16 communes réparties sur 06 Dairas. La population au 1er Janvier 2013 est estimée à 357198 habitants. Le taux d'accroissement démographique est de l'ordre de 1.8% (DPAT, 2012). La densité moyenne de la population est de 53 Hab/Km². Le climat est semi aride cette zone marquée par une sécheresse estivale et un hiver pluvieux et froid, les températures atteignent les 45 ° en été avec des journées de vents chauds (sirocco) et en hiver avec des gelées fréquentes (en moyenne de 30 J/AN). La pluviométrie moyenne varie entre 200 et 600 mm par an. Elle est mal répartie dans le temps et dans l'espace elle a imprimé les grands traits de la répartition régionale des ressources en eaux.

I.2. Estimation des ressources en eau superficielles :

La ressource en eau de surface est constituée du ruissellement des pluies. Les trois Bassins hydrographiques s'inscrivent sur le territoire de la wilaya comme suit :

I.2.1 L'espace Nord ou Zone des Bassins versants comprend : Le bassin supérieur de l'oued El Hammam intégré au Bassin de la Macta et qui réunit à l'échelle de la wilaya cinq sous bassins qui s'étalent sur une superficie de 3086,40km². Ces sous bassins rassemblent, d'une part les apports de oued Séfioune, de oued Berbour et de oued Hounet estimés en moyenne à 73 hm³/an et qui alimentent le barrage de Bouhanifia, et d'autre part ceux de l'oued Saïda, de oued Hammam, de oued El Mimoun et de oued Taria estimés à 100 hm³/an et qui se déversent dans le barrage de Ouizert. Ces oueds prennent leurs sources sur les versants nord des monts de Daïa et de Saïda, à une altitude dépassant les 1200 m. L'amont du bassin Mina –Chélif ne représente qu'une superficie de l'ordre de 377,10 km² correspondant aux versants Nord-Est des monts de Saïda où l'oued Takhemareth et d'autres oueds secondaires y prennent leurs sources avant de s'écouler dans la wilaya de Tiaret.

I.2.2 L'espace Sud Zone steppique: le bassin versant des hautes plaines steppiques s'étend à l'échelle de la wilaya sur une superficie de 3301,90 km². Il s'étale en partie sur 3 sous bassins du Chott Chergui, qui disposent d'un ensemble d'oueds présentant un écoulement intermittent. Il s'agit de oued El Oglal, oued Abter, oued Ouastani et oued El Melah. Ces oueds qui prennent naissance sur les versants sud des Monts de Saïda à une altitude de 1300 m déversent leurs apports en zones steppiques. Sans avoir pu être mobilisées, ces ressources s'écoulent vers le Sud pour alimenter les nappes du bassin endoréique du Chott Chergui (Tableau n° 01). Le chevelu hydrographique y est très peu développé, le régime des cours d'eau très irrégulier et le débit d'étiage est nul ou insignifiant durant toute la longue période sèche.

I.3 Les ressources en eau souterraines:

L'avantage de disposer d'aquifères importants et d'un grand nombre de nappes, bien réparties spatialement au niveau de la wilaya de Saïda (potentialités estimées de 90 à 120 hm³/an), représente un atout, mais l'absence d'une bonne gestion rigoureuse et d'une bonne évaluation ont fini par fragiliser ces ressources en eau.

*La zone Nord de la wilaya de Saïda : Cette zone, regroupe 10 communes et près de 90% de la population de la wilaya détient un potentiel en ressource en eau souterraine de l'ordre de 46,50 à 63,80 hm³/an.

La nappe de Saïda : C'est une nappe profonde d'une capacité de 38,50 à 50 hm³/an et d'une superficie de 2246 km². La nappe karstique est libre, et devient captive dans les compartiments effondrés de la vallée de Saïda.

La nappe de la vallée de l'oued Saïda : C'est une Nappe phréatique superficielle généralement libre s'étend sur une superficie de 228 km² et d'une capacité de 5 hm³/an.

La nappe de Djebel Remailai : La wilaya de Saïda renferme également une avancée de la nappe du Djebel Rémailia qui est contenue en grande partie dans la wilaya de Sidi Bel Abbès. Cette formation calcaire, enfoncée du côté Nord-Ouest de la wilaya de Saïda dans la zone de Youb (DH Saïda, 2009). Cette unité hydrogéologique n'a pas fait l'objet d'études approfondies et mérite donc d'être mieux connue la capacité de la nappe de Djebel Remailai varie entre 3 et 8,80 hm³/an.

*La zone steppique de la wilaya : Le Chott Chergui vaste étendue plate de 27 000 km², salée en surface et constamment humide, les particularités visibles de cette unité hydrogéologique complexe sont ses sources d'eau tel que Ain Skhoune et El Kheiter. Cette zone, qui ne réunit que quatre communes et à peine 10 % de la population de la wilaya, détient un potentiel en ressource en eau de l'ordre de 42 à 60 hm³/an, emmagasiné dans trois formations aquifères que renferme le Chott-Chergui. Les eaux de cette nappe sont thermo minérales. Pour préserver les eaux minérales de Saïda, un transfert de 500 L/s à partir du chott chergui pour alimenter la ville de Saïda. « Selon les données de l'ANRH. Afin d'éviter la surexploitation de la nappe du Chott Chergui, il a été recommandé d'interdire toute nouvelle implantation de forage à l'intérieur du bassin hydrogéologique du Chott (ANRH Saïda, 2008).

2. Potentialités hydriques de la wilaya de Saïda :

L'évaluation des ressources en eaux superficielles est confrontée au problème de sa quantification précise due à l'absence d'un réseau de mesures hydrométriques et de l'insuffisance des stations de jaugeage. Les ressources mobilisables à partir des apports de la wilaya avoisinent les 100 hm³/an, mais restent destinées en grande partie à la wilaya de Mascara. Pour des besoins agricoles, les prélèvements au fil de l'eau le long des oueds les plus importants sont estimées à 10,70 hm³ à partir de 2007 (DPAT Saïda, 2008). Il est important de noter que les ressources superficielles ne sont pas mobilisées malgré un apport pluviométrique annuel de l'ordre de 20.000 millions de mètre cube et seules les ressources souterraines couvrent actuellement les besoins de l'ordre de 200 millions de mètres cube par an.

3. La mobilisation des ressources en eau :

3.1. Les ressources superficielles et ouvrages de mobilisation :

Plusieurs moyens de mobilisation des eaux sont réalisables sur le terrain. Tout dépend des conditions favorables pour les réalisées. Pour la wilaya de Saïda la mobilisation des eaux de ruissellement sont emmagasinées par de petits ouvrages en terre destinés à emmagasiner des quantités d'eau varie entre 10.000 à 100.000 m³ les volumes d'eau mobilisés par ce moyen devrait représenter un potentiel non négligeable pour l'irrigation d'appoint et l'abreuvement du cheptel. Un important programme de construction de retenues collinaires a été lancé au cours des années 80. Ces retenues construites rapidement sur des sites pas toujours bien étudiés ont été envasées, mal entretenues ou emportées par les crues. En effet, sur un total de 11 ouvrages réalisés dans cette période, 9 sont déclarés non opérationnels pour des motifs liés soit à l'envasement ou elles ont été emportées par les crues. En 2010 une opération a été lancée pour étude et réalisation de 10 sites pour augmenter le volume d'eau la quantité d'eau mobilisée sera de 719 466 m³ destiné à l'irrigation.

3.2. Mobilisation des eaux souterraines :

Le développement socio-économique de la région de Saïda et l'accroissement de la population ont poussé les autorités locales à la mobilisation de ses ressources souterraines pour la satisfaction de ses besoins un important programme de réalisation de forages est mené par les services de la DRE ainsi que l'ANRH. « Depuis 1990 jusqu'en 1998, malgré une mobilisation dépassant les 80 hm³/an, le volume total des ressources en eau affectées aux usagers n'atteignait que 24,26 hm³/an. Devant une situation déficitaire inexplicable et lourde de conséquence, la wilaya a dû engager un programme de mobilisation extrême de ses ressources souterraines qui a évolué à 92,45 hm³/an en 2001, puis à 100,71 hm³/an en 2005 et 105,75 hm³/an en 2007 ».

3.2.1. La mobilisation à usage domestique : Les ressources souterraines locales mobilisables exploitables sont estimées à 110,806 hm³/an, 153 forages ont été réalisés à travers la wilaya dont 104 forages sont exploitables 45 forage non inexploitable et 04 en arrêt, sur les 104 forages 94 forages sont destinés à l'alimentation en eau potable. La dotation moyenne calculées pour la wilaya est de 165 l/j/hab.

3.2.2. La mobilisation à usage agricole : Le volume mobilisé à usage agricole est de 26,4 hm³ provenant des ressources superficielles (03 oueds il s'agit de oued Sefioun ; Berbour et oued Saïda) et de 58,54 hm³ d'eau souterraine. Selon les données de DRE, La mobilisation de l'eau pour l'irrigation est effectuée par 455 forages, 343 puits et 301 points de

prélèvements au fil de l'eau (DRE Saïda, 2010).L' inventaire des points d'eau effectué au niveau de la wilaya par les services de la DSA (2013),

3.2.3. La mobilisation à usage industriel : L'eau mobilisée pour l'industrie est assuré par 7 forages l'eau consommée par l'industrie et de 3,83 hm³ dont 1,19 hm³ eau superficielle et 2,64 hm³ provenant des eaux souterraines la consommation d'eau est de l'ordre de 9 400 m³/j.

3.2. Infrastructures et équipements de mobilisation : La mobilisation des eaux pour le compte de la wilaya de Saïda est en effet confrontée au problème de la quantité d'eau insuffisante pour assurer les différents besoins de la wilaya, et pour assurer une bonne qualité des eaux, les eaux transférées à partir de la nappe chott chergui sont mélangés à celle d'Ain Zerga pour améliorer sa qualité. D'autres nappes minérales existent, en particulier à Oued Fallette et Oum Doud où des analyses ont révélé que leur qualité était la même que celle des eaux minérales de Saïda.

3.2.1. Adductions :La wilaya de Saïda dispose d'un ensemble infrastructurel de 11 Adductions principales et secondaires dépassant les 1 268 474,3 ml de conduites dont la capacité d'acheminement avoisine les 83 895 m³/j soit 38,82 hm³/an. L'adduction d'Ain Skhoua, d'une capacité de 43 200 m³/an, ne transfère vers la ville de Saïda que 50 % de ce volume. Ainsi les adductions acheminent pour le moment un volume de 43 200 m³/j soit 15,77 hm³/an représentant 85,62 % des besoins en eau potable de la wilaya pour l'année 2009.1

3.2.2. Stockage de l'eau :La capacité de stockage de la wilaya a évolué d'un volume de 65 605 m³ enregistré en 2005 à 80 435 m³ en 2009 et à 83 895 m³ en 2012, Ce volume représente la capacité de 185 installations qui permettent de garantir un bon approvisionnement en eau potable et correspondent à 47 châteaux 3 et 121 réservoirs sur sol d'un volume.

4. Assainissement et épuration des eaux usées :

L'eau est épurée pour plusieurs motifs le manque d'exutoire, déficit en eau surtout dans une région semi aride comme la wilaya de Saïda et pour la protection de l'environnement. Le volume global d'eaux usées rejetées est évalué à 37929m³/j et 5000m³/j Rejeter par les unités industrielles. La wilaya de Saïda a déployé des efforts conséquents dans le but de renforcer et de mettre en place une infrastructure d'assainissement importante, ce réseau qui est passé de 363 924 mètres linéaires enregistrés en 2001 à plus de 608 984 ml en 2012, la ville de Saïda à elle seule compte un réseau de plus de 173310 ml, Ain El Hadjer 39 739ml et ouled Khaled 39 930ml. En terme d'épuration et récupération des eaux usées, la wilaya de Saïda dispose de 04 stations de traitement des eaux usées localisées dans les agglomérations de Saïda 30000 m³/j , Ain El Hadjar 4800 m³/j, Sidi Amar 1469 m³/j, et celle de Maamoura, l'eau traitée est de 1036m³/j les autres agglomérations assainis rejettent leurs effluents sans traitement vers les oueds tels que Sidi Boubekeur, Berbour et Hounet, qui alimentent les barrages situer dans la wilaya de Mascara. est estimée à 3 % de la population globale. Ces indicateurs traduisent un degré remarquable et significatif dans la mise en place des infrastructures d'assainissements urbains, les zones rurales dispersées en étant dépourvues, en ayant recours aux fosses septiques et aux puits perdus.

Conclusion

Le climat semi-aride et la sécheresse quasi permanente qui à touché la région des hautes plaines occidentales depuis plusieurs années met la zone d'étude devant deux grands problèmes en matière des ressources en eau le déficit pluviométrique et la perte d'une part importante des écoulements au niveau du chott. Le déficit pluviométrique a des effets directs sur les débits des cours d'eau. Ceci provoque des périodes sèche pouvant durer jusqu'à plusieurs mois. L'utilisation irrationnelle de l'eau durant les deux dernières décennies provoquent un déséquilibre entre l'offre et la demande d'eau, en plus la capacité de stockage reste insuffisante ce qui engendre une surexploitation des eaux souterraines. ces ressources hydriques limitées sont confrontées à une demande croissante en eau potable en raison de l'expansion urbaine. et la croissance démographique.

La mobilisation des eaux est confrontée à une double problématique, caractérisée par une limitation des ressources locales et un recours de plus en plus important aux ressources souterraines de Chotte Chergui pour assurer le lourd déficit et parvenir à satisfaire les besoins de la ville de Saïda (avec un ratio de disponibilité en eau de 200 m³/j/hab). Une demande croissante en eau industrielle, du fait du développement du tissu industriel (zone Saïda et Ain el Hadjar). Une demande en eau agricole élevée, du fait des surfaces importantes à irriguer et a la croissance des cheptels. L'approche analytique des données que nous avons acquises grâce à des enquêtes sur le terrain et un aperçu de la façon de gérer et de distribuer l'eau, le but de cette étude est de contribuer au diagnostic des causes du déficit en eau dans la wilaya et une évaluation

I KAFI D.,2011, Evaluation des potentialités hydriques et leur gestion dans la wilaya de Saïda (Algérie Occidentale).mémoire de magister Environnement. Université de Sidi Bel Abbés page 58

de la disponibilité actuelle des eaux expliquent la raison de la recherche de sources éloignées telles que l'option d'Ain Skhouna.

Références

- [1] B. Bennaoum, Étude du contexte environnemental de sources thermales de l'Ouest Algérien : Hammam Bou-hadjar, hammam-bouhanifia et Hammam Rabbi, mémoire de magister. Université de Sidi Bel Abbés, Faculté des Sciences 2009.
- [2] D. Kafi, Evaluation des potentialités hydriques et leur gestion dans la wilaya de Saïda (Algérie Occidentale). mémoire de magister Environnement, Université de Sidi Bel Abbés, 2011.
- [3] C. Belkacem, S. Sediri, Etude de la qualité physico-chimique des eaux de source d'Ain zerga (Saida) et d'Ain Skhouna. Mémoire d'Etude Universitaire Appliqué en Chimie Industrielle, Centre Universitaire de Saïda, 2006.
- [4] N. Bechlaghem, Evaluation des potentialités hydriques de la wilaya de Tlemcen et diagnostic de la gestion du barrage Sidi Abdelli et ses problèmes annexes. Mémoire de Magister, Univ. Sidi Bel Abbés, 79 p., 24 fig., 22 tabl., 6 annexes, 2008.
- [5] M. Benslimane, LA problématique de l'eau dans l'aménagement des agro systèmes steppiques et oasiens de l'ouest algérien : cas d'Ain Skhouna et Brezina. thèse de doctorat en sciences hydrauliques. Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, 2008.
- [6] A. Guendouzi, N. Bentayeb, Diagnostic général du schéma d'alimentation en eau potable de la ville de Saïda. Mémoire d'ingénieur en hydraulique, Université Moulay Tahar Saïda, 2008.
- [7] A. Kefifa, Contribution à l'étude et à la cartographie de l'impact des pressions anthropozoogènes et climatiques sur les ressources naturelles des monts de Saïda (Algérie). thèse de doctorat en Sciences d'Agronomie et des Forêts. Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, 2013.
- [8] L. Zella, L'eau (pénurie ou incurie). Office des Publications Universitaires, Alger, 2007, pp 23-41-121.
- [9] F. Alaoui, M. Benyahia, La gestion des ressources en eau de la wilaya d'Oran, entre tradition et modernité. 1er Sémin. Nat : Biodiversités végétales et espaces naturels "évaluation pour une meilleure compréhension", Univ. Sidi Bel Abbés, 05-07 Mai 2008.
- [10]
- [11] ABH OCC, Plan directeur d'aménagement des ressources en eau dans la région Oranie-Chott-Chergui, 2010.
- [12] ADE Saïda, Etude de diagnostic et de réhabilitation des systèmes d'alimentation en eau potable des villes Saïda –Bechar, pp 12-19, 2008.
- [13] ADE Saïda, Situation de l'alimentation et AEP, document inédit, 2008b.
- [14] ANBT, Situation des Barrages en exploitation et grands Transfers (Situation 2010).
- [15] ANRH Saïda, L'hydrographie de la wilaya, document inédit, 2008b.
- [16] MATE, Etude de délimitation et caractérisation du massif montagneux Tlemcen, Dhaya et Saïda, pp 18-71, 2009.

Comportement hydrodynamique et géochimique d'une nappe côtière soumise à des contraintes naturelles et anthropiques sévères. Cas de la nappe de Nouakchott, Mauritanie.

AS Mohamed¹, C Leduc², C Marlin³, MA Sidi-Cheikh⁴, P. Vincent⁵

¹Ecole Supérieure Polytechnique de Nouakchott. Ahmedsalemmd@gmail.com

²IRD, UMR G-eau. Christian.leduc@ird.fr

³UMR GEOPS/Université Paris-Sud 11. Christelle.marlin@u-psud.fr

⁴CDD/Mauritanie. oudsidicheikh@yahoo.fr

⁵Consultant hydrogéologue

Résumé

Le comportement de la nappe côtière de Nouakchott en réponse aux contraintes naturelles et anthropiques a été étudié en combinant deux approches : hydrodynamique (évolution piézométrique durant les dernières décennies) et géochimique (éléments majeurs, bromure et isotopes stables de la molécule d'eau). Les résultats montrent une remontée du niveau de la nappe phréatique d'environ 1 à 2 m depuis les années 60. Le meilleur approvisionnement en eau potable durant ces dernières années (170000 m3/j) et l'absence d'un réseau d'assainissement et de collecte des eaux de pluie ont augmenté considérablement la recharge de la nappe phréatique et complexifié les processus responsables de sa minéralisation.

Mots-clés : Anthropisation, Recharge de nappe, Aquifère côtier, Nouakchott, Régions semi-arides

Hydrodynamic and hydrochemical behaviour of a coastal aquifer impacted by severe natural and anthropogenic constraints. The case of the Nouakchott phreatic aquifer, Mauritania.

Abstract

The Nouakchott coastal aquifer is exposed to severe natural and anthropogenic constraints. Its study combined two approaches: hydrodynamics (piezometric changes in the recent decades) and geochemistry (major ions, bromide and stable isotopes of the water molecule). The groundwater level has risen by about 1 to 2 m since the 1960s. The increased domestic water supply in the recent years (170000 m3/d) and the lack of networks for waste waters and rainwater harvesting increased significantly the groundwater recharge, and deeply modified the groundwater chemistry.

Key Words: Anthropization, Aquifer recharge, Coastal aquifer, Nouakchott, Semi-arid regions

I. Introduction

Les ressources en eau souterraines littorales, plus particulièrement celles des zones semi-arides, sont de plus en plus exposées aux contraintes naturelles (le changement climatique qui se traduit par une augmentation de la température et sa conséquence la plus immédiate, l'élévation du niveau de la mer et l'intrusion marine, la variabilité des précipitations et des événements climatiques extrêmes) et anthropiques (croissance démographique, extension urbaine, changement d'occupation de surface des sols, érosion des cordons littoraux). La région littorale étudiée ici est celle de la capitale mauritanienne Nouakchott. Cette ville mise en place au milieu des années 1950, est devenue aujourd'hui une grande métropole, passant de 500 habitants en 1957 à plus d'un million en 2015, alimentée par un exode rural important (en particulier durant les sécheresses catastrophiques des années 1970 et 1980). La ville s'étale désormais sur une superficie de 130 km². Ce développement horizontal, rapide et anarchique a touché aussi des zones plus fragiles, menacées par l'avancement des dunes de sables d'un côté et l'érosion du cordon littoral de l'autre côté (1). Même si les habitants ont su adapter la technique de construction aux zones dunaires, ils se trouvent actuellement face à un véritable risque non pas de pénurie d'eau mais d'excès d'eau (2). Le but de cette investigation est d'étudier le comportement de la nappe de cette région littorale en se basant sur l'analyse de l'évolution hydrodynamique associée à une étude géochimique des ions majeurs, du bromure ainsi que des isotopes stables de la molécule d'eau. Du point de vue géomorphologique, la ville de Nouakchott est pour l'essentiel en situation de polder, localisée surtout dans une gouttière topographique parallèle au trait de côte appelée Aftout Es sahli, avec une altitude comprise entre -1 m et +1 m (Fig. 1). La ville de Nouakchott est protégée de la mer par un cordon dunaire fragile et envahie par l'avancement des dunes de l'est. Le climat de la zone est typiquement sahélien avec une courte saison pluvieuse entre juillet et octobre. La pluviométrie moyenne annuelle mesurée à Nouakchott entre 1931 et 2016 est de 100 mm (données de l'Office National de Météorologie). La précipitation est très variable dans l'espace et le temps, les épisodes journalières peuvent être localement très intenses (e.g. 183 mm le 15/08/1932, 44 mm le 21/08/2013). Salée et sub-aéreuse, la nappe de Nouakchott est contenue dans les formations quaternaires. Les diagraphies des piézomètres et sondages de reconnaissance indiquent des successions de sédiments détritiques très hétérogènes (sable, argile, falun coquiller) d'origine lacustre, éolienne et marine. Pour cette étude, les données du suivi piézométrique réalisé par le Centre National de Ressources en Eau (CNRE) depuis 2015 ont été utilisées. Une campagne hydrodynamique et géochimique spécifique a été effectuée en avril 2015. Des profils verticaux de la conductivité électrique ont été réalisés dans 19 piézomètres. Les paramètres physico-chimiques (température, conductivité, pH, alcalinité) ont été mesurés in situ (tableau 1). Les précisions des mesures sont de $\pm 0,1$ °C pour la température, $\pm 0,02$ en pH, 1% pour la mesure de conductivité électrique. Seule la campagne de mars 2015 a fait l'objet d'analyses chimiques (ions majeurs et bromure) et isotopiques (¹⁸O et ²H) par l'UMR-IDES de l'Université d'Orsay. Pour les 12 échantillons analysés, l'erreur sur la balance ionique est inférieure à 10%. Les compositions isotopiques sont reportées en notation conventionnelle δ en part pour mille, par rapport au standard international V-SMOW, avec des incertitudes analytiques de $\pm 0,2\%$ pour ¹⁸O et de $\pm 2\%$ pour ²H.

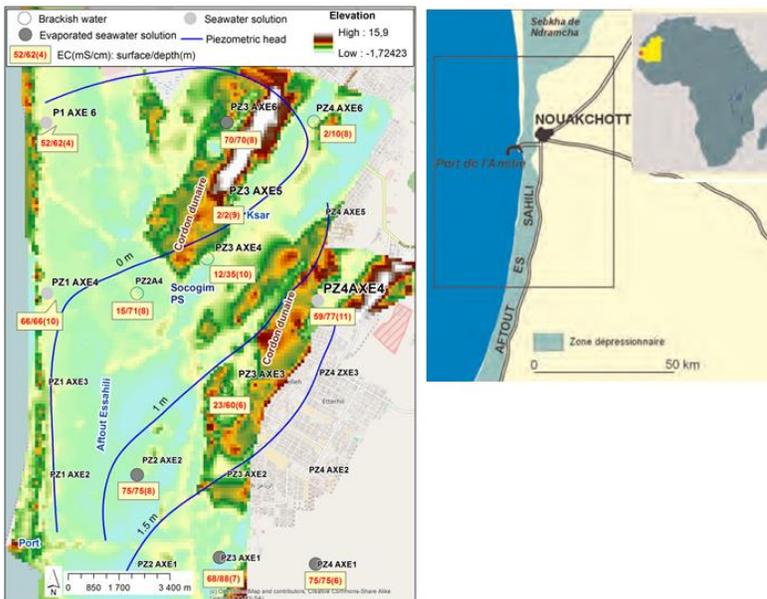


Fig. 1. Zone d'étude : situation et piézométrie

Tableau I : Données physico-chimiques et isotopiques de la nappe

Groupe	Well	pH	EC (mS/cm)	T°C	K	Na	Ca	Mg	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	Br	F	STD g/L	BI %	δ ² H (‰ vs V-SMOW)	δ ¹⁸ O
I	PZ1AXE4	7.46	53800	26.8	12.97	526.1	25.66	129.41	526.14	7.6	56.18	0.65	0.72	0.16	36.5	8.06	2.39	0.91
	PZ1AXE6	7.35	43100	24.5	10.08	427.83	19.08	106.13	585.47	10.7	65.04	1.48	0.93	0.19	36.5	-8.12	-1.02	0.35
	PZ4AXE4	7.57	53500	28.2	11.38	484.23	35.91	105.82	569.7	0.18	71.66	0.59	0.73	0.13	37.2	-0.37	-14.05	-0.69
II	PZ2AXE2	7.66	62200	25.5	14.91	642.88	27.13	151.15	787.99	0.32	74.44	0.57	1.03	0.16	49.3	-1.60	1.25	0.9
	PZ3AXE6	7.63	58000	27.6	13.76	530.38	28.11	136.32	732.99	2.93	74.31	0.56	1.06	0.17	44.7	-6.73	-3.34	0.36
	PZ3AXE1	7.35	58300	26.1	14.56	551.29	47.68	126.38	683.45	3.41	91.16	0.54	0.91	0.23	44.6	-2.55	-11.71	-0.24
III	PZ4AXE1	7.51	64000	29.5	14.95	594.42	66.34	147.39	754.61	3.31	114.98	0.68	0.98	0.12	49.9	-2.98	-6.88	1.06
	PZ2AXE4	7.05	13950	27.10	7.96	109.11	17.00	30.66	100.11	9.24	47.20	0.77	0.12	0.08	9.9	2.30	-27.88	-3.32
	PZ3AXE3	7.84	22300	26.30	7.68	171.74	31.27	37.74	168.72	18.29	45.48	0.60	0.32	0.14	14.6	3.19	-20.78	-1.98
	PZ3AXE4	10.10	10570	25.60	8.41	86.11	11.23	5.24	67.30	13.05	29.15	0.73	0.07	-	7.2	0.34	-29.57	-3.55
	PZ3AXE5	8.78	1530	26.60	0.73	8.99	1.32	2.24	9.59	0.88	4.48	0.75	0.02	0.21	0.9	-8.36	-32.97	-4.65
	PZ4AXE6	8.84	2200	24.90	0.54	10.35	8.06	3.01	12.05	1.24	6.08	0.50	-	0.13	1.3	5.01	-27.24	-3.42

2. Résultats et discussion

2.1. Dynamique de la nappe

La nappe est rencontrée à des profondeurs oscillant entre 0.6 et 5.1 m sous la surface du sol. Les plus faibles valeurs sont mesurées au centre-ville, et varient entre 0.6 et 1 m. L'écoulement de la nappe est généralement de l'ouest (Océan) vers l'est où elle se trouve à un niveau compris entre 0.8 et 2 m sous le niveau de la mer (Fig. 1), avec un dôme piézométrique sous le centre-ville. Le gradient hydraulique est faible et varie entre 0.03 ‰ et 0.3 ‰ avec une valeur moyenne de 0.13 ‰. La perméabilité de terrain (obtenue avec des mesures de vitesse d'infiltration) est variable, parfois très faible dans les sebkhas ; elle varie entre presque 0 et 4. 10⁻⁴ m²/s, avec une valeur médiane de 1.6 10⁻⁴ m²/s (n=14) (3). Les mesures piézométriques mensuelles effectuées depuis 2015 indiquent une remontée du niveau de 0.2 m. Les fluctuations piézométriques sont nettement plus prononcées pendant la saison des pluies. Pour l'année 2015, ces remontées saisonnières observées sont de 0.10 m à 0.44 m avec une médiane de 0.27 m (n=18) pour un cumul de précipitation de 113 mm. Avant 2015, les mesures piézométriques sont rares et ponctuelles. Elles proviennent pour la plupart des sondages de reconnaissance des sols (2 mesures BCEOM en 1964 ; 7 mesures SIF en 1966 ; 1 mesure SOMELEC en 1980) et des témoignages qualitatifs des habitants. Même si la superposition de ces données anciennes avec les mesures récentes reste délicate, elle montre une remontée de niveau de la nappe d'environ 1 à 2 m, notamment au centre-ville. Cette hausse est confirmée par la comparaison avec le niveau de la nappe mesuré en 2015 lors de la construction du nouvel aéroport de Nouakchott, à 30 km au nord dans un environnement naturel équivalent en topographie et hydrogéologie (Fig. 2). Cette remontée de la nappe sous la ville de Nouakchott est la conjonction de trois phénomènes agissant à des échelles de temps et d'espace différentes : (a) une augmentation du ruissellement des eaux de surface et leur accumulation dans les bas-fonds. En effet, depuis 1999, comme dans le reste du Sahel, la pluviométrie est revenue à son niveau moyen de la période 1900-2015, mais les événements intenses dépassent en nombre et en volume ceux des décennies humides (1950-1970), ce qui peut favoriser le ruissellement (4, 5). De plus, en ville, les états de surface ont considérablement changé (e.g. imperméabilisation, topographie perturbée) et modifier les conditions générales de l'écoulement à mesure que la ville se développe horizontalement et que nouvelles constructions surgissent sur les dunes et sebkhas. En conséquence et en l'absence d'un réseau d'évacuation, les eaux pluviales ruissellent et se concentrent dans les zones basses.

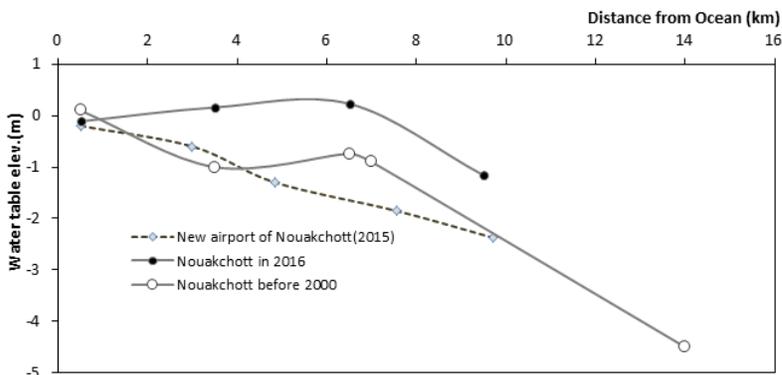


Fig. 2. Evolution de niveau de la nappe

(b) la hausse du niveau marin, qui constitue une limite de potentiel hydraulique amont pour la nappe phréatique. Du fait de la forte perméabilité des sédiments du cordon littoral sableux, la hausse marine induit une hausse de nappe très peu atténuée à proximité du littoral. Au-delà de ce processus général actif sur l'ensemble de la côte, des recharges de la nappe très limitées dans le temps et l'espace se produisent pendant des intrusions marines lors de tempêtes provoquant des ruptures accidentelles ou des franchissements du cordon littoral (6, 7). Là encore, l'anthropisation récente (e.g. prélèvements abusifs de matériaux meubles dans le cordon protecteur, aménagements portuaires) bouleverse les équilibres naturels et joue un rôle majeur.

(c) l'augmentation de la recharge artificielle, par pertes dans les réseaux d'eaux potables et usées et par rejets domestiques en puisards toujours plus importants du fait de l'augmentation démographique et du meilleur approvisionnement en eau.

2.2. Origine de la minéralisation de la nappe

La conductivité électrique mesurée en avril et décembre 2015 varie de 1.5 à 86 mS/cm. Les valeurs les plus faibles sont mesurées au centre-ville et les plus fortes en périphérie. Les profils verticaux de conductivité électrique montrent des stratifications de différentes familles d'eau notamment dans le centre-ville où une eau saumâtre surmonte une eau salée avec une interface située au-delà de 6 m de profondeur. Les 12 échantillons analysés présentent un faciès homogène de type chloruré sulfaté sodique. Selon la teneur en Cl les échantillons sont classés en 3 groupes : groupe I (3 échantillons) avec une teneur en Cl similaire à l'eau de mer ; groupe II (4 échantillons) avec une teneur en Cl supérieure à 680 meq/L correspond à une solution marine évoluée par évaporation et groupe III (5 échantillons) dont la teneur en Cl inférieure à 160 meq/L correspond à une eau saumâtre. Les eaux du groupe I se situent majoritairement près de la côte, les échantillons du groupe II dans les sebkhas tandis que l'eau saumâtre (groupe III) est échantillonnée au centre-ville. Dans le diagramme Br vs Cl (Fig. 3) les trois groupes s'alignent sur la droite de dilution et évaporation d'eau de mer avec un rapport Br/Cl similaire à celui de l'eau de mer pour le groupe I. Le groupe II est plus concentré que l'eau de mer et se situe sur la droite d'évaporation de l'eau de mer, reflétant une origine marine et une évolution par évaporation, mais sans que l'évaporation n'aboutisse à la cristallisation de halite. Pour le groupe III, le rapport Br/Cl inférieur à celui de l'eau de mer indique une dilution par l'eau douce. Les compositions isotopiques des eaux de la nappe varient de -4.65 ‰ à +1 ‰ et de -33 ‰ à -1 ‰ en ^{18}O et ^2H , respectivement. Elles sont du même ordre que celles obtenues dans la nappe du Trarza (8), soit -5.6 à +6.9 ‰ pour ^{18}O et de -40 à +18 ‰ pour ^2H . Dans le diagramme $\delta^2\text{H}$ versus $\delta^{18}\text{O}$ (Fig. 4), les eaux de la nappe sont en dessous de la DMM (Droite Météorique Mondiale) définie par Craig (9). Elles s'alignent sur une droite d'équation $\delta^2\text{H} = 6 \times \delta^{18}\text{O} - 7$, passant au-dessous du point (0,0) caractérisant l'eau de mer. Les échantillons des groupes I et II sont nettement plus enrichis en isotopes que le groupe III du centre urbain de Nouakchott. Les échantillons du centre affichent des teneurs en isotopes proches de la moyenne du Trarza mais plus enrichies que la précipitation locale (-5.35 ‰ en ^{18}O et -35.1 ‰ en ^2H) et le fleuve Sénégal qui alimente actuellement la ville en eau potable (-5.5 ‰ en ^{18}O et -39.1 ‰ en ^2H).

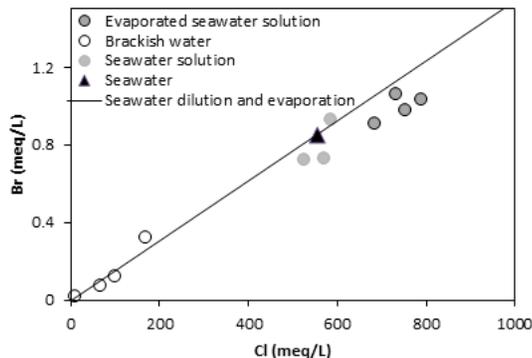


Fig. 3. Relation entre Cl/Br

Rapportant les teneurs de Cl en fonction de ^{18}O (Fig. 5), les échantillons s'inscrivent dans un système de deux pôles : un pôle correspondant à l'eau de mer naturelle et évoluée par évaporation et un pôle représenté par un mélange entre eau douce (pluie, fleuve Sénégal, Trarza) et eau marine auquel s'ajoute un effet d'évaporation. Le processus d'évaporation se marque par la concentration saline des eaux marines (actuelles ou anciennes) de surface avant et après infiltration en raison de la faible profondeur de la nappe. L'origine de salinisation marine, près de la côte comme à plus forte distance, s'explique par l'évolution géologique du site. En effet, durant le Quaternaire récent, la mer a envahi toute la zone à plusieurs reprises dont la dernière date de 5000 an BP (Nouakchottien). Plus récemment, la zone d'étude a connu plusieurs intrusions marines localisées dues aux ruptures ou franchissement du cordon littoral comme évoqué plus haut.

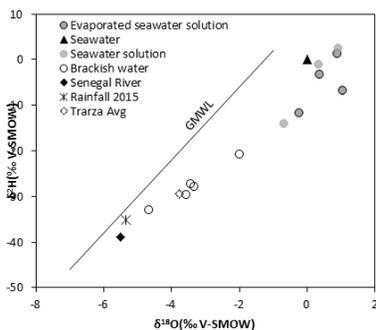


Fig. 4. $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$

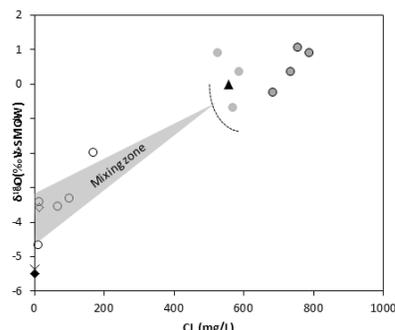


Fig. 5. Relation Cl/ $\delta^{18}\text{O}$ (même légende que Fig.4)

2.3. Adoucissement local de la nappe sous Nouakchott

Les échantillons du groupe III proviennent des quartiers les plus peuplés notamment le centre-ville. Ils présentent les eaux les moins minéralisées de l'aquifère avec une CE en surface comprise entre 2 et 23 mS/cm. La minéralisation croît progressivement en profondeur et fluctue entre 2 et 71 mS/cm pour une profondeur de 8 m (Fig. 1). Cette stratification eau saumâtre/eau salée localisée est liée à d'autres formes d'anthropisation du milieu (fuites dans le réseau d'AEP et les rejets domestiques). En effet, la ville est alimentée depuis 1960 par les eaux souterraines de la nappe du Trarza via le champ captant d'Idini situé à 60 km à l'est. Le volume d'eau acheminé a évolué avec la croissance urbaine et est passé de 1000 m³/j en 1960 à 60000 m³/j en 2010. A cette date, plus de 2/3 de la ville n'était pas connecté au réseau d'AEP et les quartiers du centre et de sa périphérie immédiate étaient les mieux desservis en eau potable. Depuis la mise en place du projet d'Aftout Es sahili en 2011, la ville est désormais alimentée par les eaux de surface du fleuve Sénégal avec un débit de 170 000 m³/j. Par ailleurs, seuls les quartiers mis en place dans les années 1960 (actuel centre-ville) sont raccordés au réseau collectif d'assainissement de 38 km linéaire. Ailleurs, c'est-à-dire dans 90 % de l'espace urbain, les systèmes d'assainissement individuels prennent la forme de puits perdus, fosses septiques non étanches et les citernes collectant l'eau usée et la déversent un peu partout dans la ville. Du fait de l'augmentation de la production en eau, de la plus forte pression d'eau injectée dans l'ancien réseau d'adduction et de sa vétusté, de multiples fuites ont été observées ces dernières années. Selon la SNDE (Société Nationale de l'Eau) environ 40% de la quantité d'eau distribuée est perdue sous forme des fuites. L'augmentation de la quantité d'eau douce consommée et rejetée dans le sous-sol et les fuites dans le réseau induisent une recharge de la nappe phréatique conduisant à un adoucissement de sa minéralisation. Les teneurs moyennes en oxygène-18 de l'eau d'Idini (Trarza Avg) et du fleuve Sénégal, qui alimentent la ville en eau potable, ont été reportés sur le graphique 18O vs Cl (Fig. 5). Les échantillons du groupe III sont issus d'un mélange évaporé entre le pôle d'eau de mer et l'eau d'alimentation.

3. Conclusion

L'interaction entre différents processus climatiques et anthropiques modifiant l'hydrogéologie de la région de Nouakchott s'accroît et se complexifie depuis ces dernières décennies, l'urbanisation étant le processus majeur. Le nombre limité des points d'observation limite considérablement notre capacité de prédiction de l'impact de ces changements sur les ressources en eau dans un futur proche. L'analyse hydrodynamique et géochimique a montré que la remontée de niveau de la nappe (1 à 2 m en 50 ans) est notamment induite par l'eau potable massivement rejetée dans le sous-sol. La minéralisation des eaux de la nappe est liée à des intrusions marines récentes (rupture du cordon littoral) et anciennes (transgressions quaternaires) et à l'urbanisation récente.

Références

- [1] Z. Nouaceur. Nouakchott, une capitale au péril des vents de sable, de l'ensablement et des inondations. Science et changements planétaires/Sécheresse, 24(2015), 182-193.
- [2] M.A. Ould Sidi-Cheikh, P. Ozer, A. Ozer. Risques d'inondation dans la ville de Nouakchott (Mauritanie). Geo-Eco-Trop, 31(2007), 19-42.
- [3] IRC/EDE. Etude des technologies d'assainissement autonome dans les villes de Nouakchott et Rosso (2015). Rapport Technique, 101 p.
- [4] A. Ali, T. Lebel. The Sahelian standardized rainfall index revisited. International Journal of Climatology, 29 (2009), 1705-1714.
- [5] G. Panthou, T. Vischel, T. Lebel, J. Blanchet, G. Quantin, A. Ali. Extreme rainfall in West Africa: a regional modeling. Water Resources Research, 48 (2012), W08501.
- [6] S. Barry. Contribution à l'étude géomorphologique de la cote mauritanienne: cas de Nouakchott et ses environs. DES en géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, (2003), 116p
- [7] D. Marico, G. Pennober, J.G. Creuseveau, A. Thiam, A. Ould-Senhoury, F. Levoy. Préservation des défenses naturelles du littoral mauritanien: démarche de l'Observatoire du Littoral autour du suivi du cordon dunaire. Interactions Nature-Société, analyse et modèles. Rapp. Bur. Rech. Géol. Min. (2006), Dakar, DAK 65 - A 2, 61 p.
- [8] A.S. Mohamed, C. Marlin, C. Leduc, M. Jiddou. Modalités de recharge d'un aquifère en zone semi-aride: cas de la nappe du Trarza (Sud-Ouest Mauritanie). Hydrological Sciences Journal, 59(2014), 1046-1062.
- [9] H. Craig. Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. Science, 133 (1961), 1833-1834.

Amélioration de la dégradation photocatalytique de l'isoproturon par addition d'accepteur d'électron en présence d'une petite quantité de bioxyde de titane en solution aqueuse.

Soulef AZIZI¹, Tahar SEHILI²

¹ LMSSEF, Oum El Bouaghi University, 04000, Algeria Bouaghi 04000, Algeria. E-mail: azizi_soulef@yahoo.fr

² LSTE, Exact Science Faculty, University of Constantine, 25000 Constantine, Algeria E-mail: tsehili@yahoo.fr

Résumé

La photodégradation de l'isoproturon: 3-(4-isopropylphényl)-1,1-diméthylurée (IP) en solution aqueuse a été réalisée par différents procédés d'oxydation avancés: suspensions hétérogènes de TiO_2 (TiO_2 / UV, TiO_2 / UV / H_2O_2 et TiO_2 / UV / $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), solutions homogènes de $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$ ($\text{Fe}(\text{III})$ / UV) et dans le système couplé TiO_2 / $\text{Fe}(\text{III})$ / UV ont été étudiées et comparées. Les résultats des expériences de photocatalyse assistées par H_2O_2 ou $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ont montré qu'une faible dose de H_2O_2 ou de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (10^{-4} M à 10^{-2} M) augmenterait le taux de dégradation photocatalytique de l'isoproturon.

La dégradation de l'isoproturon photoinduite par $\text{Fe}(\text{III})$ en solution aqueuse a été étudiée. L'irradiation en présence de sels de fer (III) est efficace pour 10^{-3} M de $\text{Fe}(\text{III})$ alors que la dégradation est plus faible pour les concentrations les plus élevées (10^{-2} M et 5×10^{-2} M). Les taux de dégradation étaient toujours plus élevés pour les systèmes photocatalytiques hétérogènes (TiO_2 / UV) comparés à la catalyse homogène (Fe^{3+} / UV).

Les concentrations optimales de TiO_2 et de Fe^{3+} pour la dégradation de l'isoproturon dans le système couplé (TiO_2 / $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$) se sont révélées être de 20 mg.L^{-1} de TiO_2 et de 10^{-3} M de $\text{Fe}(\text{III})$. Le système $\text{Fe}(\text{III})$ / TiO_2 (20 mg.L^{-1}) / UV s'améliore avec l'élévation de la concentration en $\text{Fe}(\text{III})$ dans l'intervalle des concentrations: 3×10^{-5} M- 5×10^{-2} M.

Bien que la quantité optimale du TiO_2 pour dans notre réacteur est de 1 g/L , les cinétiques de la dégradation photocatalytique obtenue montre que l'utilisation d'une petite quantité (20 mg/L) du catalyseur (TiO_2) est suffisante pour avoir des cinétiques de dégradation très proche de celles obtenues lors de l'utilisation d'une quantité de TiO_2 cinq fois supérieur (1 g/L) pour les systèmes: TiO_2 /UV/ H_2O_2 et TiO_2 /UV/ $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$, TiO_2 /Fe(III)/UV.

Mots-clés : Isoproturon (IP); TiO_2 /UV; Sels de fer (III); électron accepteur.

Isoproturon phodegradation improvement by acceptors electrons addition in presence of small quantity of titanium dioxide in aqueous solution.

Abstract

The photodegradation of isoproturon: 3-(4-isopropylphenyl)-1,1 dimethylurea (IP) in aqueous solutions has been conducted by different advanced oxidation processes: heterogeneous suspensions of TiO_2 (TiO_2 /UV, TiO_2 /UV/ H_2O_2 and TiO_2 /UV/ $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), homogenous solutions of $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$ ($\text{Fe}(\text{III})$ /UV) and coupled system TiO_2 /Fe(III)/UV were investigated and compared. The results of H_2O_2 or $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ -assisted photocatalysis experiments showed that a low H_2O_2 or $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ dosage (10^{-4} M to 10^{-2} M) in photocatalysis would enhance the degradation rate of isoproturon.

The degradation of isoproturon photoinduced by $\text{Fe}(\text{III})$ in aqueous solution has been investigated. Irradiation in presence of iron (III) salts is effective for 10^{-3} M of $\text{Fe}(\text{III})$ concentration whereas degradation is slower for the highest concentrations (10^{-2} M and 5×10^{-2} M). The degradation rates were always higher for the heterogeneous photocatalytic systems (TiO_2 /UV) compared to the homogeneous catalysis (Fe^{3+} /UV).

Optimal concentrations of TiO_2 and Fe^{3+} for the abatement of the isoproturon in the coupled system (TiO_2 /Fe(ClO_4)) were found to be 20 mg.L^{-1} of TiO_2 and 10^{-3} M of $\text{Fe}(\text{III})$. addition of $\text{Fe}(\text{III})$ to TiO_2 (20 mg.L^{-1})/UV system accelerates degradation kinetics of isoproturon in the concentration intervals: 3×10^{-5} M- 5×10^{-2} M.

Although the optimal amount of TiO_2 for in our reactor is 1 g.L^{-1} , the kinetics of the photocatalytic degradation obtained shows that the use of a small amount (20 g.L^{-1}) of the catalyst (TiO_2) is sufficient to have sufficient kinetics of degradation very close to those obtained when using a TiO_2 quantity five times higher (1 g.L^{-1}) for the systems: TiO_2 , UV / H_2O_2 , TiO_2 / UV / $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ and TiO_2 / $\text{Fe}(\text{III})$ / UV.

Key Word: Isoproturon (IP); TiO_2 ; UV; Iron salts (III); electron acceptor.

Introduction

Phenylurea derivatives are reported to be among the most widely used herbicides in agriculture today [1]. These herbicides have received particular attention in recent years because of their toxicity and possible carcinogenic properties, and because several weeks, or even months, are required for their removal from environment [1]. The application of herbicides on agricultural soils is a well-established and effective practice to control weed growth. For many years, their presence and environmental impact have attracted much attention due to the wide use of such compounds in agriculture and household applications. Isoproturon (IP): 3-(4-isopropoxyphenyl)-1,1-diméthylurea is a selective herbicide used in pre- and post-emergence control of weeds in many crops and they act as inhibitors of photosynthesis [2]. It undergoes a long transformation in nature by hydrolysis in aqueous medium with 30 days of a half life time [3]. The photochemical half life has been evaluated at more than one year even in summer condition, in the grounds [4]. Several authors have investigated the photodegradation of isoproturon in aqueous systems, e.g., direct photolysis of isoproturon in water under UV irradiation [5-7], and photocatalytic degradation with TiO_2 [8, 9]. We are interested by the kinetics degradation of isoproturon in heterogeneous phase (TiO_2/UV , $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ and $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$), in homogeneous phase (Fe^{3+}/UV) and the combination of the two processes ($\text{TiO}_2/\text{Fe}^{3+}/\text{UV}$) by using the same photochemical reactor. The performance of the IP degradation was investigated by varying different concentration such as TiO_2 and Fe(III) . The most interesting is given to the comparison between the action of persulfate and hydrogen peroxide associated with TiO_2 .

1. Experimental approach

1.1. Reagents

All reagents used in this work were analytical reagent grade and used without any further purification. High-purity Isoproturon purchased from Riedel-deHaën. No impurity was detected by HPLC chromatogram at $\lambda = 240$ nm. Methanol for HPLC was provided by Carlo Erba. Solutions were prepared by double distilled water, controlled by its resistivity ($18 \text{ M}\cdot\Omega\cdot\text{cm}^{-1}$). Solutions and mobile phase are filtered (Millipore $0.45 \mu\text{m}$) before the use. Ferric perchlorate ($\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$) from Carlo Erba. The photocatalyst, titanium dioxide Degussa P25 A. G. Frankfurt, Germany is predominantly anatase (80% anatase and 20% rutile) with a specific BET-surface area of $50 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Concentration of H_2O_2 and $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ are used in (10^{-4} M to 10^{-2} M).

1.2. Photochemical reactor

Solutions were irradiated at 365 nm using three Philips lamps HPW black light 125 W with a maximum of emission at 365 nm. The lamp being located along one focal axis and the reactor in Pyrex equipped with a water-cooling jacket along the other. Device, in which the reactor was surrounded by lamps in a cylindrical mirror, as shown in fig. 1, was used to study the transformation of substrate. The solutions were magnetically stirred and the temperature during the experiment was maintained at $18 \pm 2^\circ\text{C}$.

1.3. Analysis

The absorption spectra of solutions have been recorded on a spectrophotometer Unicam «Helios α » connected to a computer for the storage and treatment of spectra. The disappearance of substrate and formation of the photoproducts were followed by HPLC Shimadzu LC 8A apparatus equipped by a photodiode detector. Column is SupercosilTM LC-18, $250 \times 4.6 \text{ mm}$, mobile phase is a mixture methanol/water 60/40 (v/v).

1.4. Heterogeneous photocatalysis

The reaction mixture consists in 100 ml of isoproturon (10^{-4} M) and TiO_2 ($1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) stirred in the dark for 60 minutes before being irradiated in order to reach the best adsorption rates. Sample collected at appropriate time intervals were filtered through cellulose acetate filter (Millipore $0.45 \mu\text{m}$) to remove the TiO_2 particles prior to analyses.

2. Result and discussion

2.1. Effect of H_2O_2

The relationship between the photodegradation efficiency of IP and photocatalyst concentration. It is found that the optimum photocatalyst concentration was ($1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) [10].

To investigate the effect of adding H_2O_2 to the photocatalysis ($1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ of TiO_2) of IP, experiments were carried out with adding three different dosages of H_2O_2 (10^{-4} M , 10^{-3} M , 10^{-2} M), and results are shown in fig. 1 (A) [11].

It is known that hydrogen peroxide can enhance the reaction of IP degradation by providing additional hydroxyl radicals either through trapping of photogenerated electrons or produced by reaction with superoxide anion O_2^- . In the presence of oxygen, the conduction band electrons are trapped leading therefore the formation of superoxide anions in order to avoid the electron-hole annihilation. As reported, hydroxyl radical can be generated when hydrogen peroxide traps photogenerated electrons [12]. This trapping would also help suppress electron-hole pair produced recombination at the activated catalyst surface. We explored the effect of hydrogen peroxide addition to the catalyst loading of $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ as shown in fig. 1 (B). In contrast, with the effect of hydrogen peroxide on the system with a high catalyst loading ($1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$),

IP degradation was found to continuously increase with the increase of hydrogen peroxide in the case of the smaller loading (20 mg.L⁻¹). It appears that in the latter case, hydrogen peroxide acted as the dominant degrading agent.

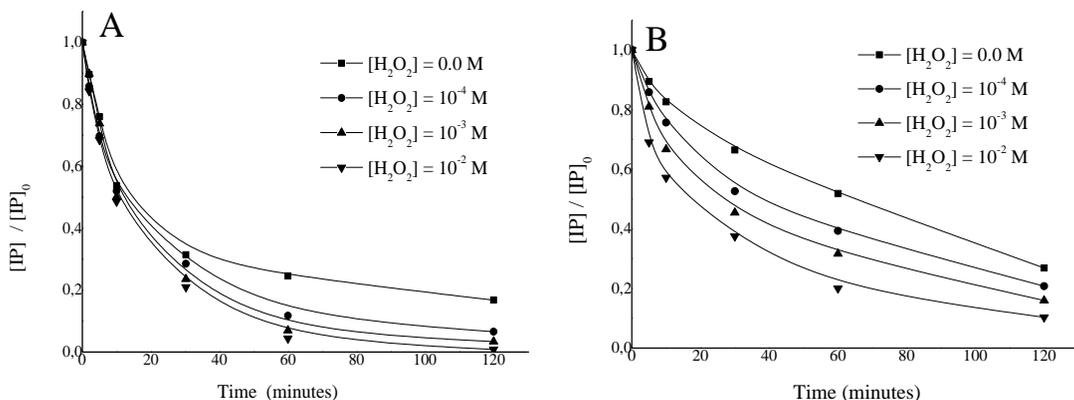


Fig. 1: H₂O₂ effect on IP (10⁻⁴ M) photocatalytic transformation; (A): TiO₂ Degussa P25 (1g.L⁻¹) [11], (B):TiO₂ Degussa P25 (20 mg.L⁻¹).

2.2. Effect of K₂S₂O₈

As with H₂O₂, experiments have been conducted in order to study the photocatalysis (TiO₂ 1 g.L⁻¹ and 20 mg.L⁻¹) transformation of IP (10⁻⁴ M) with different concentration in persulfate such as 10⁻⁴, 10⁻³ and 10⁻² M of persulfate ion (S₂O₈²⁻). Thus, looking at fig. 2 (A) [11], we note that the transformation of IP by S₂O₈²⁻/UV was reached after a reaction time of 120 min, which corresponds to almost the same time as that obtained with H₂O₂/UV, by using the weakest concentration of persulfate (10⁻⁴ M). This will allow to situate the proper efficiency of this system. fig. 2 (B) shows IP photocatalytic degradation (20 mg.L⁻¹) in presence of persulfate anion. This comparison has been possible since all experiments have been achieved under identical conditions: batch reactors, [H₂O₂]₀ = [S₂O₈²⁻]₀ = 10⁻⁴, 10⁻³ and 10⁻² M, [IP]₀ = 10⁻⁴ M, and same light intensity. These results might be attributed to the contribution of species such as ·OH and SO₄^{·-}, both radicals are present in the medium [13-15]. Thus the results reported in Table I reflect well performance of S₂O₈²⁻/UV and H₂O₂/UV. It has been observed that persulfate anions can trap the photogenerated conduction band electrons of TiO₂ more than O₂, and generate strong oxidizing SO₄^{·-} [16]. The sulphate radical anion may react with photogenerated electron and water molecule to produce hydroxyl radical. The sulphate radical anion (SO₄^{·-}) is also a very strong oxidant (E₀ = 2.6 eV) which also participates in the degradation process.

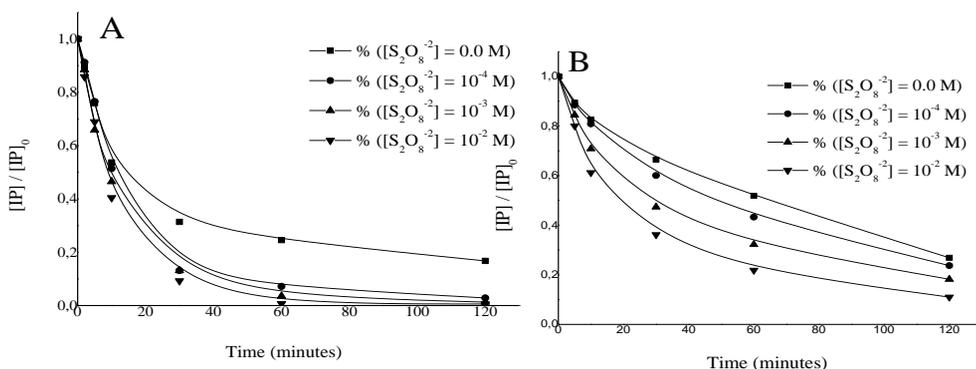


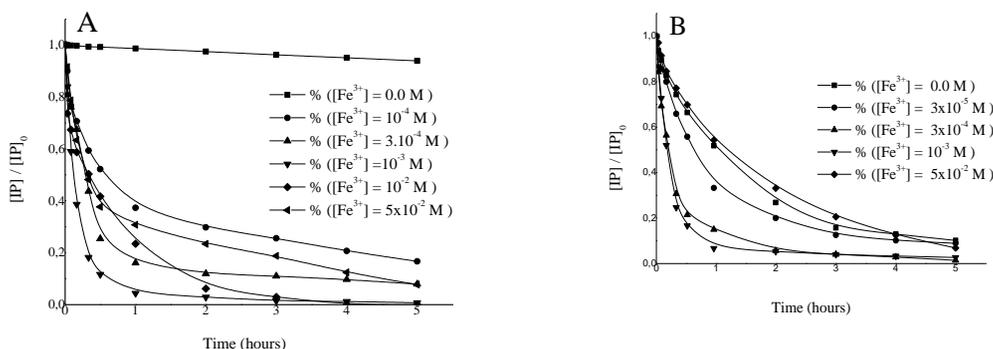
Fig. 2: K₂S₂O₈ effect on IP (10⁻⁴ M) photocatalytic transformation; (A): Degussa P25 (1g.L⁻¹) [11], (B):TiO₂ Degussa P25 (20 mg.L⁻¹)

Table 1. Comparison between efficiencies of $S_2O_8^{2-}$ and H_2O_2 on the photocatalysis transformation of IP.

	TiO ₂ Degussa P25 (1g.L ⁻¹)						TiO ₂ Degussa P25 (20 mg.L ⁻¹)					
	S ₂ O ₈ ²⁻			H ₂ O ₂			S ₂ O ₈ ²⁻			H ₂ O ₂		
Concentration (M)	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²
k _{app} (10 ² M. min ⁻¹)	6.6	6.8	7.8	1.8	2.6	3.5	6.5	6.7	7.2	2.2	2.8	3.6
t _{1/2} (min)	10.5	10.5	9	39	27	20	11	10.5	10	32	25	19

2.3. Kinetics of IP photodegradation through Fe(III) system and its effect in the enhancement of TiO₂ sensitized photodegradation

The degradation of IP photoinduced by excitation of Fe(III) at 365 nm has been studied in the concentration range 10⁻⁴–5x10⁻² M (fig. 3 (A)). From fig. 3 (A)), we noted that IP degradation depends greatly on Fe(III) concentration. The disappearance kinetics shows two different stages. The first and fast is due to excitation of Fe(OH)²⁺ which is an effective source of hydroxyl radicals. Whereas the second shows, slower kinetics when observed when Fe(III) was photoreduced totally. IP degradation increase with the increase of Fe(III) concentration in the range 10⁻⁴-10⁻³ M. This effect can be correlated with the increase of the monomeric species present in Fe(III) solution. The effect of adding Fe(III) on the photocatalysis transformation of IP by the system (Fe (III)/TiO₂) have been studied (fig. 3 (B)). We worked with a concentration of TiO₂ equal to 20 mg.L⁻¹ because the positive effect of added Fe(III) cations was observed for lower concentrations of TiO₂ and where the concentration of IP is equal to 10⁻⁴ M. Various concentration of Fe (III) was added (from 3x10⁻⁵ to 5x10⁻² M). On all concentration intervals of Fe (III) (3x10⁻⁵M-5x10⁻²M) studied, photocatalysis improve with the increase of the Fe (III) concentration. This improvement is much more significant for the Fe (III) concentration equal to 10⁻³M.



Effect of iron (III) concentration on IP solution (10⁻⁴M^o : (A): without TiO₂ Degussa P25, (B):TiO₂ Degussa P25 (20 mg.L⁻¹).

Conclusion

Phototransformation of IP has been studied in different systems where hydroxyl radicals, highly oxidizing species are mainly formed. At low concentration in TiO₂ (20 mg.L⁻¹), we have shown an important positive effect for the degradation of IP due to the iron addition. The degradation of IP mainly involves the formation of HO[•] radicals derived from the excited species of iron (III) and also from excited TiO₂ in combined system. Effect of H₂O₂ or S₂O₈²⁻ addition on IP photocatalysis by TiO₂, was exploited in this research. Overall, it was found that addition of hydrogen peroxide or persulfate anion to the photocatalytic system was beneficial and it was demonstrated that the desired enhancement can be achieved with 10⁻³ M of

hydrogen peroxide. As a consequence, the importance of choosing the optimum degradation parameters to obtain high degradation rate, is essential for any practical application of photocatalytic oxidation processes.

Références

- [1] A. Lopez, G. Mascolo, R. Foldenyi and R. Passino, Disinfection by-products formation during hypochlorination of isoproturon contaminated groundwater, *Water Sci. Technol.* **34**, (1996) 351.
- [2] In: C.D.S. Tomlin, *The Pesticide Manual*, Tenth edition., British Crop, 1994.
- [3] G. Kulshrestha, *Hydrolysis of isoproturon in aqueous medium and its persistence in soil and plant*, *Indian journal of Weed Sci.*, **14**, (1982) 96-102.
- [4] M. Melit, W. U. Palm, C. Zetzsch, *Investigation of the photochemistry of urea herbicides (chlorotoluron and isoproturon) and quantum yields using polychromatic irradiation*, *Environ. Toxicol. Chem.*, **17**, (1998) 258.
- [5] G. Kulshrestha and S. K. Mukerjee, *The photochemical decomposition of the herbicide isoproturon*, *Pest. Sci.* **17**, (1986) 489-494.
- [6] P. Dureja, S. Walia and K. K. Sharma, *Photolysis of isoproturon in aqueous solution*, *Toxicol. Environ. Chem.*, **34**, (1991) 65-71.
- [7] C. Tixier, P. Bogaerts, M. Sancelme, F. Bonnemoy, L. Twagilimana, A. Cuer, J. Bohatier and H. Vescambre, *Biodegradation of a phenylurea herbicide, diuron: structure and toxicity of metabolites*, *Pest. Mang. Sci.*, **56**, (2000) 455-462.
- [8] M. M. Haque and M. Muneer, *Heterogeneous photocatalysed degradation of a herbicide derivative, isoproturon in aqueous suspension of titanium dioxide*, *J. Environmental Management*, **69**(2003) 169-179.
- [9] B. Toepfer, A. Gora and G. Li Puma, *Photocatalytic oxidation of multicomponent solutions of herbicides: Reaction kinetics analysis with explicit photon absorption effects*, *Appl. Catal. B: Environ.* **68** (3-4) (2006) 4171-180.
- [10] S. Azizi, T. Sehilli and K. Djebbar, Sc. & Tec. A, *Dégradation photocatalytique de l'isoproturon en suspension aqueuse du bioxyde de titane irradiée par UV: cinétique de dégradation, produits intermédiaires et mécanisme réactionnel*; **B** **27**, (2008) 17-23.
- [11] S. Azizi, S. Belaidi and T. Sehilli; *Oriental J. Of Chem.*, *Phototransformation of (3-4-isopropylphenyl)-1, 1 dimethylurea by different TiO₂ in aqueous solution*; **23** (3) (2007) 837-844.
- [12] J. Yano, J.-I. Matsuura, H. Ohura and S. Yamasaki, *Complete mineralization of propyzamide in aqueous solution containing TiO₂ particles and H₂O₂ by the simultaneous irradiation of light and ultrasonic waves* *Ultrasonics Sonochem.* **12** (2005) 197-203.
- [13] J.H. Baxendale and J.A. Wilson, *Photolysis of hydrogen peroxide at high light intensities*. *Trans. Faraday Soc.*, **53** (1957), 344-356.
- [14] K.C. Huang, A. Richard and C.G.E. Hoag, *Kinetics of heat assisted persulfate oxidation of methyltert-butyl ether (MTBE)*, *Chemosphere*, **49** (2002) (4) 413-420.
- [15] K. Djebbar, S. Aliouche, H. Chenini, T. Sehilli, *Decolourization process of an azoic dye (Congo red) by photochemical methods in homogeneous medium*, *Desalination*, **250** (2009) 76-86.
- [16] E. Pelizzetti, V. Carlin, C. Minero, M. Gratzel, *Enhancement of the Rate of Photocatalytic Degradation on TiO₂ of 2-Chlorophenol, 2,7-Dichlorodibenzodioxin and Atrazine by Inorganic Oxidizing Species*, *New J. Chem.*, **15** (1991) 351-359.

Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption du phosphore sur les sédiments aquatiques de l'Oued Boufekrane (Maroc)

Abdelaziz ABDALLAOUI , Hind OMARI, Ali DEHBI, Adil LAMMINI,

Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Département de Chimie, Equipe Chimie Analytique et Environnement, B.P. 11210, Zitoune, Meknès, Maroc.

* Auteur Correspondant : a.abdallaoui@gmail.com
omari.hind@gmail.com dehbialif@gmail.com adillammini@gmail.com

Résumé

Les rejets domestiques, industriels et agricoles sont les trois responsables de la dégradation de la qualité des cours d'eau. Ces rejets qui sont déversés, sans aucun traitement préalable, dans les cours d'eau, sont certainement chargés en polluants de diverses espèces et notamment en phosphore.

Dans ce contexte et pour une étude de la fixation du phosphore sur les sédiments aquatiques de la région de Meknès, nous avons étudié dans le présent travail la cinétique, les isothermes ainsi que la thermodynamique d'adsorption du phosphore sur les sédiments de l'Oued Boufekrane.

Les résultats obtenus ont montré que la réaction de fixation est rapide pendant les premières minutes et l'équilibre s'établit au bout de 6 heures. La cinétique d'adsorption du phosphore sur les sédiments étudiés suit le modèle du pseudo-second ordre et les isothermes d'adsorption sont bien interprétées par le modèle de Freundlich. L'étude thermodynamique a montré que la réaction d'adsorption est endothermique, et se fait de manière spontanée à la surface des sédiments étudiés.

Mots clés : Phosphore, Oued Boufekrane, Sédiment, adsorption, cinétique, thermodynamique.

Kinetic and thermodynamic study of the adsorption of phosphorus on the aquatic sediments of Oued Boufekrane (Morocco)

Abstract

Domestic, industrial and agricultural wastes are responsible for the degradation of water quality. These discharges, which are discharged without any prior treatment into the watercourses, are certainly loaded with pollutants of various species, in particular phosphorus.

In this context, and for a study of the fixation of phosphorus on aquatic sediments in the region of Meknes, we studied in the present work the kinetic, isotherms and thermodynamic of adsorption of phosphorus on sediments of the Oued Boufekrane.

The results obtained showed that the binding reaction is rapid during the first minutes and the equilibrium is established after 6 hours. The adsorption kinetics of phosphorus on the sediments studied follow the pseudo-second order model and the isotherms are well interpreted by the Freundlich model. The thermodynamic study showed that the adsorption reaction is endothermic, and is spontaneously on the surface of the sediments studied.

Key Words: Phosphorus, Oued Boufekrane, sediment, adsorption, kinetic, thermodynamic.

Introduction

L'augmentation croissante des concentrations massives des populations urbaines, ainsi que le développement des activités industrielles et agricoles dans la région de Meknès, ont eu pour conséquences de sérieux dommages et des déséquilibres de l'environnement aquatique de manière générale et de la dégradation de la qualité des eaux des principaux cours d'eau de la région en particulier. Dans les écosystèmes aquatiques, les sédiments jouent un rôle important dans le bilan, le métabolisme et la dynamique du phosphore, et fonctionnent comme des réservoirs et peuvent accumuler des quantités élevées de phosphore [1]. Cette charge interne constitue une source importante de phosphore pour la phase aqueuse [2]. L'objectif de cette étude est de déterminer le pouvoir adsorbant des sédiments superficiels de l'Oued Boufekrane vis-à-vis du phosphore, en étudiant la cinétique, les isothermes et la thermodynamique de l'adsorption de ce phosphore sur les sédiments étudiés.

I. Matériel et Méthodes

Les expériences d'adsorption ont été effectuées en batch en agitant 0,5 g de sédiment sec dans 25 mL de la solution KH_2PO_4 à 5 mg.l^{-1} à la température 24°C. Après la séparation de la phase liquide et l'adsorbant à l'aide du filtre millipore de 0,45 μm , l'absorbance du surnageant a été mesurée en utilisant un spectromètre UV/visible à la longueur d'onde de 700 nm. De même l'étude cinétique a été réalisée en agitant 0,5 g de sédiment dans la solution aqueuse de KH_2PO_4 à 5 mg/L. Les modèles cinétiques du pseudo-premier ordre et pseudo-second ordre ont été utilisés pour évaluer la cinétique d'adsorption. Les isothermes de Langmuir et Freundlich à l'équilibre d'adsorption ont été étudiées sur une gamme des concentrations initiales allant de 3 à 14 mg/L de phosphore, et les paramètres de chaque isotherme ont été déterminés. D'autre part, la température a été variée de 24° à 45°C pour déterminer les paramètres thermodynamiques.

Le calcul de la capacité de rétention (Q_{ads}), a été effectué par l'équation (1) :

$$Q_{\text{ads}} = \frac{(C_0 - C_r) \times V}{m} \quad (1)$$

Avec C_0 et C_r sont respectivement les concentrations initiales et résiduelles des ions phosphates ; m est la masse du sédiment, et V le volume de la solution de KH_2PO_4 .

2. Résultats et Discussion

2.1. Cinétique d'adsorption

L'étude de l'adsorption du phosphore sur les sédiments étudiés, implique le suivi de la quantité adsorbée au cours du temps, afin de déterminer le temps de contact qui correspond à l'équilibre. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 1, où l'évolution de la quantité adsorbée en fonction du temps, montre que la capacité de fixation des sédiments étudiés augmente rapidement avec le temps durant la première heure, suivie d'une autre étape plus lente et qui tend vers un équilibre après 6 heures.

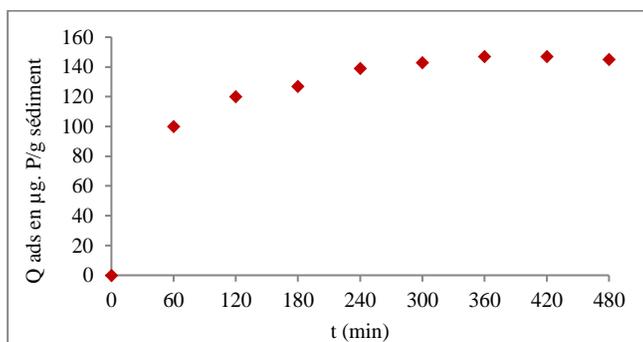


Figure 1. Cinétique d'adsorption du phosphore sur les sédiments de l'Oued Boufekrane à 24 °C.

On peut interpréter la rapidité de la cinétique d'adsorption du phosphore sur les sédiments de l'Oued Boufekrane, pendant les premières minutes de réaction, par la disponibilité d'un nombre important des sites actifs à la surface au début d'adsorption, par rapport à celui restant après un certain temps [3] [4]. La cinétique fournit des informations relatives au mécanisme d'adsorption et au mode de transfert des solutés de la phase liquide à la phase solide [5]. La modélisation

cinétique d'adsorption du phosphore sur les sédiments étudiés, a été réalisée selon deux modèles : le pseudo-premier ordre (2) [6], et le pseudo-second ordre (3) [7].

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln(Q_e) - k_1 t \tag{2}$$

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} t \tag{3}$$

- Avec :
- Q_t : quantité adsorbée du phosphore à l'instant t (mg/g),
 - Q_e : quantité adsorbée du phosphore à l'équilibre (mg/g),
 - k_1 : constante de vitesse de pseudo-premier ordre (min^{-1}),
 - k_2 : constante de vitesse de pseudo-second ordre ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

Les constantes des modèles de pseudo-premier ordre et pseudo second-ordre ont été déterminées par les équations (2) et (3), en traçant respectivement $\ln(Q_e - Q_t)$ en fonction du temps (Figure 2), et t/Q_t en fonction du temps (Figure 3). Les paramètres cinétiques ainsi déterminés pour chaque modèle sont regroupés dans le tableau 1.

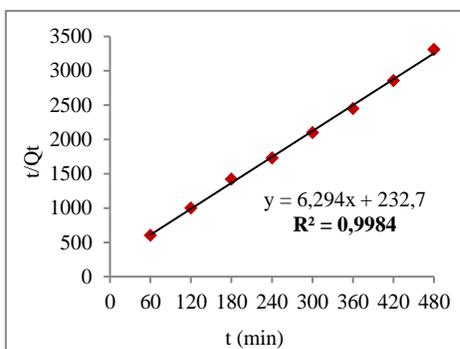
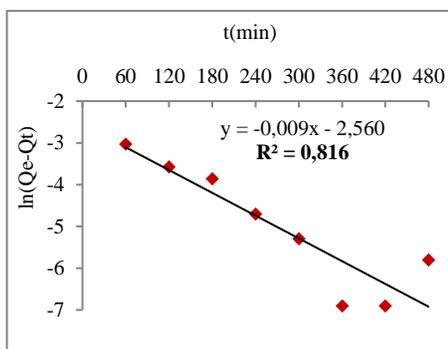


Figure 2. Cinétique de pseudo-premier ordre à 24 °

Figure 3. Cinétique de pseudo-second ordre à 24 °

Tableau 1. Paramètres cinétiques de l'adsorption du phosphore sur les sédiments de l'Oued Boufekrane à 24°C.

Pseudo-premier ordre			Pseudo-second ordre			
k_1 (min^{-1})	Q_e ($\mu\text{g/g}$)	R^2	k_2 ($\text{g}/(\text{mg}.\text{min})$)	Q_e ($\mu\text{g/g}$)	R^2	Q_{exp} ($\mu\text{g/g}$)
0,009	77	0,816	0,170	159	0,998	148

A partir des résultats résumés dans le tableau 1, on constate que le coefficient de détermination du modèle cinétique de pseudo-second ordre est très proche de 1, et que la quantité adsorbée à l'équilibre (Q_e) déterminée par ce modèle est plus proche de celle obtenue expérimentalement (Q_{exp}). Ces résultats montrent que la cinétique de rétention du phosphore sur les sédiments étudiés est mieux décrite par le modèle de pseudo-second ordre que celui de pseudo-premier ordre.

2.2. Isotherme d'adsorption

L'étude des isothermes d'adsorption consiste à représenter à une température constante la relation à l'équilibre entre la quantité adsorbée (Q_e) et la concentration restante en phase liquide après l'équilibre (C_e). Les résultats obtenus sont traités par l'application du modèle de Langmuir et celui de Freundlich qui ont fait l'objet de plusieurs travaux pour l'étude des isothermes d'adsorption du phosphore sur les sédiments aquatiques [8] [9] [10].

L'équation de Langmuir se décrit comme suit [11]:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_m} + \frac{1}{K_L Q_m} \quad (4)$$

Avec : C_e : concentration des ions phosphates à l'équilibre (mg/L),
 Q_e : quantité du phosphore adsorbée à l'équilibre (mg/g),
 Q_m : capacité maximale d'adsorption pour une monocouche (mg /g),
 K_L : constante d'équilibre d'adsorption ou (constante de Langmuir) (L/mg).

L'équation de Freundlich peut être linéarisée sous la forme suivante [12] :

$$\ln Q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (5)$$

Avec : Q_e : quantité adsorbée du phosphore à l'équilibre (mg/g),
 K_F : constante de Freundlich (mg/g).(L/mg)^{1/n},
 C_e : concentration des ions phosphates dans la solution à l'équilibre (mg/L),
 n : intensité d'adsorption.

Les représentations linéaires des valeurs expérimentales illustrées dans les figures 4 et 5, nous ont permis de déterminer les paramètres d'équilibre ainsi que les valeurs des constantes de Langmuir et Freundlich (Tableau 2). D'après ces résultats, le coefficient de détermination obtenu par l'application de modèle de Freundlich est plus important par rapport à celui de Langmuir, ce qui confirme que l'adsorption du phosphore par les sédiments de l'Oued Boufekrane est bien décrite par le modèle de Freundlich.

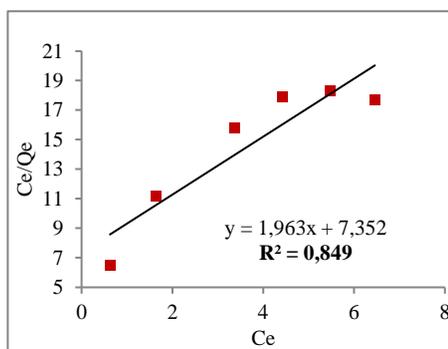


Figure 4. Linéarisation de l'équation de Langmuir po l'adsorption du phosphore sur les sédiments de l'Ou Boufekrane à 24°C.

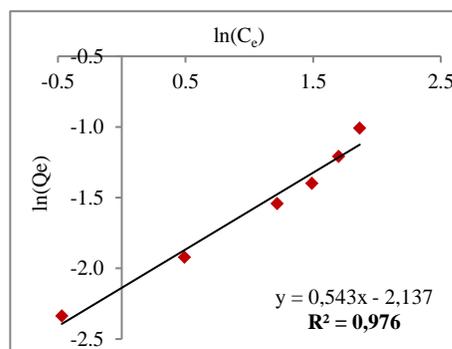


Figure 5. Linéarisation de l'équation de Freundlich p l'adsorption du phosphore sur les sédiments de l'Ou Boufekrane à 24 °C.

Tableau 2. Paramètres des isothermes d'adsorption du phosphore sur les sédiments de l'Oued Boufekrane à 24 °C.

Isotherme de Langmuir			Isotherme de Freundlich		
K_L (L/mg)	Q_m (mg/g)	R^2	K_F (mg/g).(L/m)	n	R^2
0,27	0,509	0,849	0,12	1,85	0,976

2.3. Etude thermodynamique

Les paramètres thermodynamiques de la réaction d'adsorption à l'équilibre : l'enthalpie libre standard ΔG° , l'enthalpie standard ΔH° et l'entropie standard ΔS° sont obtenues à partir de la constante d'équilibre à différentes températures, selon les équations suivantes : [13] [14] [15]

$$K_e = \frac{C_0 - C_e}{C_e} \quad (6)$$

$$\ln K_e = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (7)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_e \quad (8)$$

Avec : C_0 : Concentration initiale des ions phosphates (mg/L) ;
 C_e : Concentration des ions phosphates à l'équilibre (mg/L) ;
 K_e : Constante d'équilibre
 R : Constante des gaz parfaits ;
 T : Température (K).

Le tracé linéaire de la variation de $\ln(K_e)$ en fonction de $1/T$ est une droite (Figure 6) où $-\Delta H^\circ/R$ et $\Delta S^\circ/R$ sont respectivement la pente et l'ordonnée à l'origine.

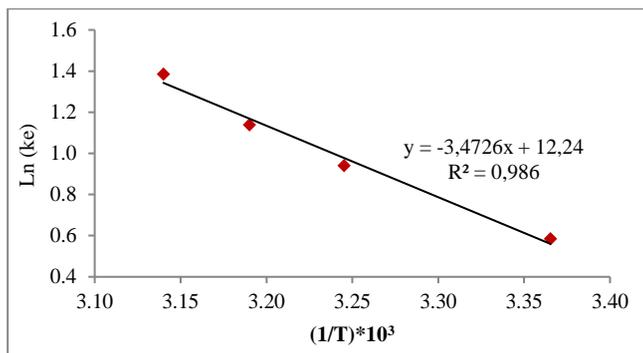


Figure 6. Représentation de $\ln(K_e)$ en fonction de $1/T$.

Les paramètres thermodynamiques ont été déterminés à partir des résultats expérimentaux obtenus aux différentes températures qui sont regroupés dans le tableau 3.

Tableau 3. Paramètres des isothermes d'adsorption du phosphore sur les sédiments de l'Oued Boufekrane à 24 °C.

Température (°C)	Paramètres thermodynamiques		
	ΔH° (kJ.mol ⁻¹)	ΔS° (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	ΔG° (kJ.mol ⁻¹)
24	28,87	101,76	-1,444
35			-2,413
40			-2,965
45			-3,672

Les résultats obtenus ont montré que les réactions d'adsorption du phosphore sur les sédiments étudiés sont spontanées ($\Delta G^\circ < 0$), et sont endothermiques ($\Delta H^\circ > 0$). Ceci a confirmé l'augmentation de la capacité d'adsorption en augmentant la température de 24° à 45°C. La valeur positive de l'entropie (ΔS°) et son augmentation avec la température indique l'augmentation du désordre à l'interface du solide-solution lors de la fixation du phosphore.

Conclusion :

La modélisation de la cinétique d'adsorption montre que le modèle de pseudo-second ordre est le mieux adapté pour décrire la cinétique d'adsorption du phosphore sur les sédiments étudiés, avec un temps d'équilibre de 60 min. Le tracé des isothermes d'adsorption révèle que le modèle de Freundlich représente bien l'adsorption du phosphore sur les sédiments de l'Oued Boufekrane. Les valeurs des paramètres thermodynamiques déterminées (ΔG° , ΔH°) montrent que les réactions d'adsorption sont spontanées et endothermiques, et la valeur positive de ΔS° confirme le désordre à l'interface des sédiments lors de la rétention du phosphore sur les sédiments étudiés. Les études continuent dans le futur proche, dans le but d'étudier l'influence de quelques paramètres sur la capacité d'adsorption du phosphore sur les sédiments de l'Oued Boufekrane, tels que la masse de sédiment, le pH, la concentration initiale de dihydrogénophosphate de potassium KH_2PO_4 , et aussi dans le but d'étudier l'effet de la température.

Références

- [1] K. Fytianos, A. Kotzakioti, Sequential fraction of phosphorus in lake sediments of northern Greece, *Environmental Monitoring and Assessment*, 100 (2005) 191-200.
- [2] C.C. Travis, E.L. Etnier, A survey of sorption relationships for reactive solutes in Soil, *Journal of Environmental Quality*, 10 (1981) 8-17.
- [3] A.R. Dincer, Y. Gunes, N. Karakaya, Coal based bottom ash (CBBA) waste material as adsorbent for removal of textile dyestuffs from aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials*, 141 (2007) 529-535.
- [4] Z. Yaneva, B. Koumanova, Comparative modeling of mono and dinitrophenols sorption on yellow bentonite from aqueous solutions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 293 (2006) 303-311.
- [5] E.K. Guechi, Enlèvement de colorants à partir de solutions aqueuses par des matériaux sorbants non conventionnels et à faible coût, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2013, pp. 1-60.
- [6] S. Lagergren, Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe, *Kungliga, Svenska Vetenskapsakademiens, Handlingar*, 24 (1898) 1-39.
- [7] Y.S. Ho, G. McKay, Pseudo-second order model for sorption processes, *Process Biochemistry*, 34 (1999) 451-465.
- [8] M.L. Machesky, T.R. Holm, J.A. Slowikowski, Phosphorus speciation in stream bed sediments from an agricultural watershed: solid-phase associations and sorption behavior, *Aquat.Geochem*, 16 (2010) 639-662.
- [9] J.G. Kerr, M. Burford, J. Olley, J. Udy, Phosphorus sorption in soils and sediments: implications for phosphate supply to a subtropical river in southeast Queensland, Australia, *Biogeochemistry* 102 (2011) 73-85.
- [10] M. Jalali, E.N. Peikman, Phosphorus sorption-desorption behavior of river bed sediments in the Abshineh river, Hamedan, Iran, related to their composition. *Environ. Monit. Assess*, 185 (2013) 537-552.
- [11] I. Langmuir, The adsorption of gases on plane surfaces of glass, Mica and Platinum, *Journal of the American Chemical Society*, 40 (1918) 1361-1403.
- [12] H. Freundlich, Über die Adsorption in Lösungen, *Journal of Physical Chemistry*, 57 (1985) 387-470.
- [13] Z. Bouberka, S. Kacha, M. Kameche, S. Elmaleh, Z. Derrich, Sorption study of an acid dye from aqueous solutions using modified clays, *Journal of Hazardous Materials*, 119 (2005) 117-124.
- [14] K. Fujiwara, A. Ramesh, T. Maki, H. Hasegawa, K. Ueda, Adsorption of platinum (IV), palladium (II) and gold (III) from aqueous solutions onto L-lysine modified cross linked chitosan resin, *Journal of Hazardous Materials*, 146 (2007) 39-50.
- [15] S.Y. Yoon, C.G. Lee, J.A. Park, J.H. Kim, S.B. Kim, S.H. Lee, J.W. Choi, Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies for phosphate adsorption to magnetic iron oxide nanoparticles, *Chemical Engineering Journal*, 236 (2014) 341-347.

Effet d'un agent complexant de fer « l'acide citrique » vers le procédé photo-Fenton pour le traitement d'eau polluée par l'orange G

Lamia Mammeri, Mohamed Elhadi Benssassi, Amar aggoune, Tahar Sehili
Laboratoire des Sciences est Technologies de l'Environnement, Université des Frères
Mentouri Constantine I, Constantine 25000 Algérie.
mammeri.lamia@umc.edu.dz

Résumé

Le Fe(III) et les acides polycarboxyliques, existant largement dans le sol et les milieux aquatiques, peuvent former des complexes stables susceptibles de jouer un rôle important dans la photodégradation des contaminants organiques. Dans ce travail, le rôle catalytique du Fe(III) dans l'élimination de l'orange G (OG) en présence d'acide citrique (Cit) avec de la lumière a été étudié. Les résultats montrent que la photodégradation de l'OG est lente en présence de Fe(III) ou de Cit seul. Cependant, elle est nettement améliorée lorsque le Fe(III) et l'Cit coexistent. La raison est attribuée à la formation du complexe Fe(III)-Citrate, qui est d'une activité photocatalytique élevée, pour produire des radicaux hydroxyle, à travers le système photo-Fenton. L'influence sur le cours de la réaction de paramètres importants tels que le pH, la concentration du Fe(III) et celle de l'Cit a été abordée. Cette technique compatible avec l'environnement, apparaît donc comme efficace dans le traitement des eaux usées.

Mots clés: Orange G, acide citrique, Fe(III), radicaux hydroxyle, photo-Fenton

Effect of an iron complexant agent "citric acid" towards the photo-fenton process for the treatment of water polluted by orange G

Abstract

Fe(III) and polycarboxylic acids, widely available in soil and aquatic environments, can form stable complexes that may play a significant role in the photodegradation of organic contaminants. In this work, the catalytic role of Fe(III) in the removal of orange G (OG) in the presence of citric acid (Cit) with light has been studied. The results show that the photodegradation of OG is slow in the presence of Fe(III) or Cit alone. However, it is markedly improved when Fe(III) and Cit coexist. The reason is attributed to the formation of the Fe(III)-Citrate complex, which is of high photocatalytic activity, to produce hydroxyl radicals, through the photo-Fenton system. The influence on the course of the reaction of important parameters such as pH, concentration of Fe(III) and that of Cit was discussed. This environmentally compatible technique therefore appears to be effective in the treatment of wastewater.

Key Words: Orange G, citric acid, Fe(III), hydroxyl radicals, photo-Fenton

Introduction

La pollution de l'eau est causée par différentes catégories de substances toxiques chimiques et biologiques. Les colorants organiques sont connus d'être des polluants fréquents qui menacent la santé humaine et l'environnement. Plusieurs techniques biologiques, physiques et chimiques ont été utilisées pour l'élimination des colorants à partir de l'eau. Cependant, ces procédés ont certaines limites telles que l'incapacité d'éliminer certains éléments et la production de déchets secondaires qui nécessitent un traitement supplémentaire [1], [2]. A contrario, l'oxydation a toujours été présentée comme une alternative « propre », pas ou peu productrice de déchet.

Actuellement les complexes organiques du Fe(III) font l'objet de recherches appliquées dans plusieurs secteurs compte tenu des propriétés photochimiques du Fe(III) qui leur confèrent une part très importante dans la capacité photooxydante des milieux aquatiques. La photocatalyse utilisant les complexes organiques de Fe(III) sous la lumière solaire a été utilisée dans le traitement des polluants organiques depuis les années 1990 [3], [4]. Le radical HO[•] est généré photochimiquement par photolyse du complexe Fe(III)-carboxylate via la réaction de Fenton [5].

Dans le présent travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de la photodégradation de l'Orange G (OG), colorant azoïque typique largement utilisés dans l'industrie textile, catalysée par le Fe(III) et l'acide citrique.

I. Techniques expérimentales

Les irradiations à 365 nm ont été réalisées dans une enceinte cylindrique. La lampe UV utilisée est une lampe Philips TLAD 15 W/05 émettant principalement un rayonnement polychromatique à 365 nm est placée dans le sens vertical du cylindre. Un réacteur en pyrex de diamètre 2 cm est placé au centre, entouré par une circulation d'eau de façon à éviter l'échauffement de la solution. La solution est agitée durant l'irradiation afin d'assurer son homogénéisation. Le pH a été mesuré avec un pH-mètre de type (HANNA) muni d'une électrode de verre combinée. La réaction a été suivie par un spectrophotomètre. Il est de type "EVOLUTION 201" piloté par un ordinateur informatisé pour la mémorisation et le traitement des spectres. Les mesures ont été réalisées dans des cuves en quartz avec un trajet optique de 1 cm. La formation du Fe(II) et du H₂O₂ lors de l'irradiation a été déterminée par complexométrie.

2. Résultats et discussion

2.1. Etude thermique du système OG-Fe(III)-Cit

L'évolution du mélange OG-Fe(III)-Cit en absence de lumière et à température ambiante appelée évolution thermique était une étape nécessaire pour détecter d'éventuelles interactions entre les constituants de ce système.

Le suivi du mélange OG-Fe(III)-Cit (5×10^{-5} M, 0,25 mM, 5 mM, pH libre = 2,74) par spectrophotométrie UV-Visible en fonction du temps de vieillissement montre l'absence d'une évolution notable durant la période d'étude. Ceci indique que le mélange OG-Fe(III)-Cit est stable en solution aqueuse en absence d'irradiation.

2.2. Etude photochimique du système OG-Fe(III)-Cit

Nous avons suivi l'évolution des mélanges sous irradiation polychromatique à 365nm : cette longueur d'onde est présente dans le spectre solaire et assez énergétique pour provoquer la réaction redox conduisant à la dégradation du polluant.

La décoloration de l'OG a été réalisée dans différents conditions. Les résultats présentés sur la figure 1 ne montrent aucun changement notable de la concentration de l'OG, sous irradiation UV_{365 nm} pendant 240 minutes, soit avec le système OG seul ou avec le système combiné OG-Cit, ce qui indique que l'irradiation directe aux UV est insuffisante pour décomposer ce colorant, même en présence d'acide citrique.

On a observé une légère augmentation de l'efficacité de la décoloration de l'OG (42,35 %) dans le système OG-Fe(III), qui a été attribué aux aquacomplexes Fe(III)-OH présents en solution qui génèrent aussi les radicaux hydroxyle sous irradiation UV selon la réaction suivante :



Dans le système OG-Fe(III)-Cit, l'élimination de la couleur est plus efficace et atteint 96,79 % dans 240 minutes. La raison est attribuée à la formation du complexe Fe(III)-Cit, qui est d'une activité photocatalytique élevée, pour produire des radicaux hydroxyle, à travers le système photo-Fenton.

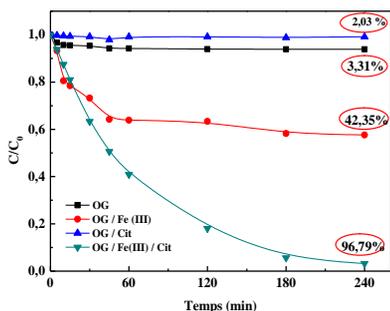


Figure 1 : Décoloration de l'OG (0.05 mM) sous diff conditions.

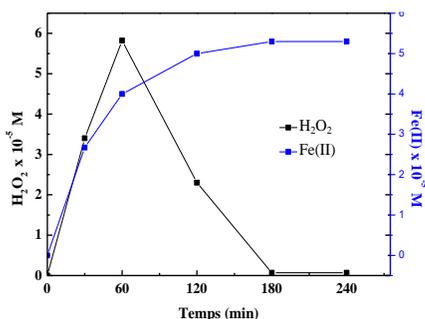


Figure 2 : Formation de Fe-F(II) et de H₂O₂ lors de l'irradiation du mélange OG-F(III)-Cit (0.05 mM, 5 mM) à 365 nm, pH libre et à 20°C.

Pour confirmer que la réaction de photo-Fenton se passe, nous avons dosé la présence de ces réactifs de base (Fe²⁺ et H₂O₂). En absence d'acide citrique, le H₂O₂ n'est pas été détecté pendant 3 heures de réaction. Cependant, le H₂O₂ à une concentration maximale de 5,8 × 10⁻⁵ M est détecté pour une concentration d'acide citrique égale à 5 mM (figure 2). Le Fe²⁺ provient de la photoréduction du Fe³⁺ réagit avec le H₂O₂ généré pour former le réactif le plus oxydant (·OH) dans ce système.

2.3. Effet de la concentration initiale de Fe(III) et de Cit sur la photodégradation de l'OG

La concentration initiale de Fe(III) et de l'acide citrique jouent un rôle important dans la dégradation de l'OG. Comme on le voit sur la figure 3, l'augmentation de la concentration initiale de Fe(III) ou de l'acide citrique dans le système OG-Fe(III)-Cit réduit considérablement le temps de la décoloration. Des résultats similaires ont été rapportés par Guo et coll [6], qui ont également noté qu'une concentration de citrate plus élevée conduit à une dégradation plus efficace du méthyle orange. L'amélioration de la dégradation par l'addition de Fe(III) et l'acide citrique est due à la production accrue des radicaux ·OH comme suit:

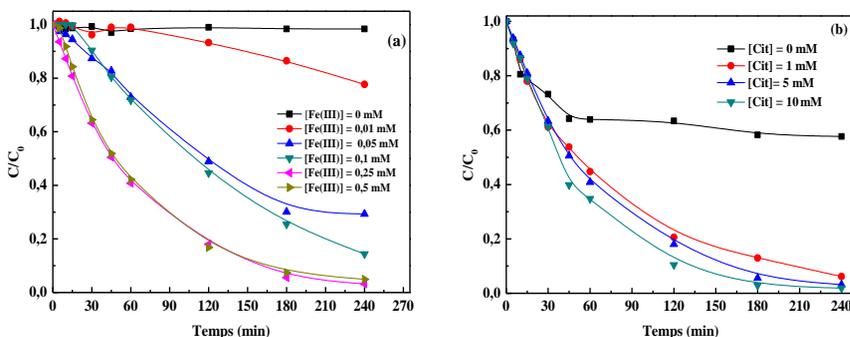
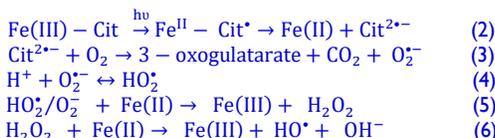


Figure 3 : Influence de la concentration du (a) Fe(III) et de (b) l'acide citrique sur la cinétique de décoloration d'OG (0,05 mM) à 365 nm.

2.4. Effet du pH sur la photodégradation de l'OG

Les colorants dans les eaux usées sont déversés à différents pH. Il nous est donc apparu, comme une étape essentielle de ce travail, d'étudier l'influence de ce paramètre sur le comportement photochimique de ce système afin de mieux comprendre son comportement dans l'environnement. Des expériences ont été menées en présence du mélange OG-F(III)-Cit (0.05 mM, 0,25 mM, 5 mM) pour trois valeurs de pH : pH = 4, pH = 6 et le pH libre (pH = 2,74).

Les résultats illustrés sur la figure 4 montrent que la décoloration de l'OG a été influencée de manière significative par le pH. Le pH acide semble avoir un effet positif sur la décoloration de l'OG. En effet à pH 2,74, 96,79% de décoloration est obtenue au bout de 240 minutes d'irradiation alors que cette décoloration n'est plus que d'environ 83,61%, 84,63% pour les pH 4, et 6 respectivement pour un même temps d'irradiation.

La dépendance entre la décoloration de l'OG et le pH résulte principalement de la spéciation du complexe Fe(III)-citrate formé. Dans la gamme de pH compris entre 2 et 3, la forme la plus dominante est Fe(III)-Cit, espèce connue plus active que les autres formes du complexe, est à l'origine de cette amélioration. Ce résultat est confirmé par les travaux de Seraghni et al [7] qui ont montré que la photodégradation du crésol par le complexe Fe(III)-Citrate est optimale à pH=3.

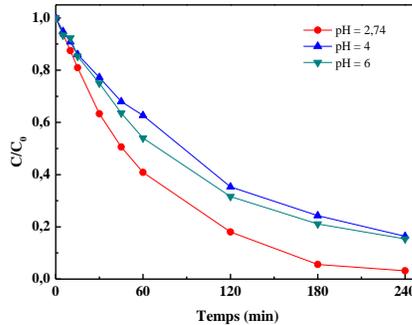


Figure 4 : Influence du pH sur la cinétique de décoloration de l'OG dans le mélange OG-F(III)-Cit (0,05 mM, 0,25 mM, 5 mM) à 365 nm.

Conclusion

La combinaison du fer et des acides polycarboxyliques (matériaux naturels) avec l'énergie solaire forment un système photochimique donnant lieu à la réaction de like-photo-Fenton sans addition de H₂O₂. Ces résultats fournissent une certaine connaissance sur le devenir des polluants organiques dans l'environnement aquatique ainsi que sur le traitement photocatalytique par les complexes organiques de fer(III).

Références

- [1] S. Netpradit, P. Thiravetyan, et S. Towprayoon, « Adsorption of three azo reactive dyes by metal hydroxide sludge: effect of temperature, pH, and electrolytes », *J. Colloid Interface Sci.*, 270 (2004) 255-261.
- [2] S.Padamavathy, S.Sandhya, K.Swaminathan, Y.V.Subrahmanyam, et S.N.Kaul, « Comparison of decolorization of reactive azo dyes by microorganisms isolated from various sources », *JES*, 15 (2003) 628-632.
- [3] J. A. Franciosa, « Beta-adrenergic blocking agents: past, present, and future perspectives », *Coron. Artery Dis.*, 10 (1999) 369-376.
- [4] B. I. Escher, N. Bramaz, M. Richter, et J. Lienert, « Comparative Ecotoxicological Hazard Assessment of Beta-Blockers and Their Human Metabolites Using a Mode-of-Action-Based Test Battery and a QSAR Approach », *Environ. Sci. Technol.*, 40 (2006) 7402-7408.
- [5] Y. Chen, Z. Liu, Z. Wang, M. Xue, X. Zhu, et T. Tao, « Photodegradation of propranolol by Fe(III)-citrate complexes: Kinetics, mechanism and effect of environmental media », *J. Hazard. Mater.*, 194 (2011) 202-208.
- [6] J. Guo, Y. Du, Y. Lan, et J. Mao, « Photodegradation mechanism and kinetics of methyl orange catalyzed by Fe(III) and citric acid », *J. Hazard. Mater.*, 186 (2011) 2083-2088.
- [7] N. Seraghni, S. Belattar, Y. Mameri, N. Debbache, et T. Sehili, « Fe(III)-Citrate-Complex-Induced Photooxidation of 3-Methylphenol in Aqueous Solution », *International Journal of Photoenergy*, (2012). Disponible sur: <https://www.hindawi.com/journals/ijp/2012/630425/>.

L'eau d'irrigation entre mobilisation et modes d'utilisation agricole : Cas de la wilaya de Mostaganem (Algérie Nord-Ouest)

Amina Hamadi I, Mohamed Larid2

Iet 2 Département d'agronomie, Labo : Biodiversité, gestion conservatoire de l'eau et des
sols

BP 300, Université de Mostaganem, 27000-Algérie - +213772698080,
a_hamadi_m@yahoo.fr, +213774302574, laridsid@yahoo.fr

Résumé

Ressource vitale tant pour les générations actuelles que futures, l'eau devient un facteur limitant en climat semi-aride avec l'accroissement constant de son usage en agriculture conjugué aux conflits avec les autres secteurs, tels que l'industrie et les ménages. Les économies d'eau ont une grande importance dans les recherches d'amélioration des techniques d'irrigation économes et dans sa gestion durable avec les changements climatiques. D'où, une bonne évaluation de la situation permettra une meilleure valorisation future afin de pouvoir produire plus avec peu d'eau. Ainsi, l'analyse de l'évolution de cette ressource dans la wilaya de Mostaganem et de son usage actuel montre la complexité de la situation avec l'augmentation des coûts de sa mobilisation et de sa gestion inappropriée. En conséquence, le gaspillage en particulier dans l'irrigation, est dû aux pertes au niveau des réseaux de distribution, des parcelles avec des doses dépassant largement les besoins de la plante cultivée, aux modes d'irrigation pratiqués, au manque de maintenance et d'entretien des ouvrages, ainsi qu'aux coûts dérisoires de l'eau d'irrigation dont il faut adapter la tarification aux réalités économiques actuelles.

Mots clés : Eau d'irrigation, facteur limitant, semi-aride, gestion durable, Mostaganem

Irrigation water between mobilization and modes of agricultural use: Case of the wilaya of Mostaganem (North-West, Algeria)

Abstract

The water as vital resource for current and future generations becomes a limiting factor in semi-arid climate with the constant increase in its agricultural use combined with conflicts of other sectors, such as industry and households. Water savings have a great importance in the search for improvement of the economical irrigation techniques and in its sustainable management with the climate change. Whence, a good evaluation of the situation will allow a better future valuation in order to produce more with little water. Thereby, the analysis of the evolution of this resource in the wilaya of Mostaganem and its current use shows the complexity of the situation with the increasing costs of its mobilization and inappropriate management. Consequently, waste, particularly in irrigation, is due to losses in distribution networks, of the plots with doses far exceeding the needs of the cultivated plant, the methods of irrigation practiced, the lack of structures maintenance, and the derisory costs of irrigation water whose the pricing must be adapted to current economic realities.

Key Words: Senegal Irrigation water, limiting factor, semi-arid, sustainable management, Mostaganem

Introduction

L'agriculture est appelée à rester le plus important utilisateur d'eau à l'échelle mondiale dont la part de l'irrigation devrait augmenter au cours des prochaines décennies [1]. Dans de nombreux pays, et en particulier ceux situés dans les régions arides et semi-arides, cette dépendance devrait même s'intensifier où il est nécessaire d'accorder la plus grande attention à ce facteur. En Algérie, les ressources en eau, faibles et surtout mal réparties sont aujourd'hui confrontées à une crise hydraulique majeure qui se manifeste, d'une part par la raréfaction et la dégradation de la ressource et, d'autre part par une compétition croissante entre les divers usages (agriculture, ménages et industrie). Mostaganem est l'une des wilayas les plus pauvres en matière des ressources en eaux de l'Ouest algérien et ce malgré la présence de plus grand oued à écoulement permanent (Chélif) qui la traverse et qui est sous exploité à cause du manque d'organisation et d'ouvrages hydrauliques appropriés. Paradoxalement, la wilaya est classée parmi les wilayas les plus importantes sur le plan de la production agricole, elle se caractérise par une activité agricole importante et dynamique, particulièrement dans les fruits et légumes. Cependant l'agriculture peut encore augmenter sa productivité par l'augmentation de la SAU irriguée en améliorant la productivité de l'eau. Le choix de cette zone d'étude répond à notre avis au souci de l'analyse de l'évolution de cette ressource, sa mobilisation et son utilisation dans le secteur agricole à partir des données obtenues auprès des différentes institutions du secteur (Direction des Ressources en Eau, Direction des Services Agricoles, Office National de l'Irrigation et du Drainage) afin de prévoir une meilleure situation pour les générations futures.

I. Matériels et méthodes

I.1. Présentation de la zone d'étude

Située au Nord-Ouest de l'Algérie, la wilaya de Mostaganem couvre une superficie de 2 269 Km². Elle est limitée à l'Ouest et au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par les wilayas de Chlef et Relizane, au Sud par les wilayas de Relizane, Mascara et Oran (cf. fig. 01). Considérée comme la capitale du Dahra, le Chef-lieu contemple à l'Ouest la large baie d'Arzew que termine le djebel Orouse. Arrosant autrefois les jardins potagers de ses rives, l'oued Ain Sefra partage la ville en deux parties, l'une neuve très étendue et l'autre vieille plus compacte. Avec un assez vaste plateau grésocalcaire, la région de Mostaganem est composée de plusieurs zones agricoles, au Sud par les plaines du Bas-Chélif, Mina, Habra et la Macta, au Nord par les vallées du Chélif, les monts et piémonts du Dahra et le plateau Achaacha, à l'Ouest par les plaines du littoral (cf. fig. 01).

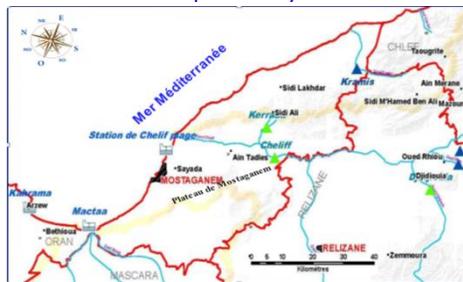


Figure 01. Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude est située sur un étage bioclimatique semi-aride de type méditerranéen avec un impact négatif sur le régime d'écoulement des oueds, sur l'alimentation de la nappe phréatique et sur le niveau de remplissage des barrages. Il est caractérisé par deux saisons distinctes, l'une hivernale froide et humide avec une répartition spatio-temporelle irrégulière des pluies (378 mm/an) et l'autre estivale chaude et sèche plus ou moins longue avec des températures extrêmes (min 6 °C et max 32 °C) qui ont une influence importante sur les plantes. Rechercher et maîtriser les eaux sont un impératif pour les populations, qui doivent s'adapter à ce climat peu généreux en eau mais plus clément en chaleur et en ensoleillement [2]. Au regard de l'irrigation et de l'insuffisance des pluies, les responsables face à cette évidence n'ont qu'une seule alternative la mobilisation des ressources en eau afin de répondre aux demandes des différents usagers particulièrement des agriculteurs.

I.2. Ressources Hydrauliques

Les ressources en eau dépendent évidemment du climat, à la fois dans leur répartition spatiale et dans l'évaluation de leur bilan saisonnier ou annuel. La wilaya de Mostaganem dispose jusqu'à présent des ressources en eaux superficielles limitées qui sont souvent entraînées par ruissellement et par écoulement torrentiels vers la mer ou les dépressions fermées. Ainsi, en raison de l'évaporation des eaux de surface, il en résulte une augmentation de la demande en eaux souterraines [3]. Afin de répondre aux besoins d'utilisation en agriculture, les eaux souterraines qui sont relativement faciles à mobiliser restent les plus sollicitées à la surexploitation (cf. tab. 01). L'irrigation (agriculture) avec 76 % et le reste destiné à l'eau potable avec l'industrie (AEP et AEI). Reste à savoir si l'utilisation de ces ressources est faite d'une manière rationnelle surtout en agriculture en adaptant des techniques permettant une réelle économie de l'eau.

Tableau 01. Mobilisation des ressources en eaux de la Wilaya de Mostaganem (DRE, 2016)

Ressource	Besoins Wilaya (hm ³)	Eaux superficielles	Eaux souterraines (hm ³)	Eaux non conventionnelles		Total (hm ³)	
				Eaux de dessalement	Eaux réutilisées		
Volume mobilisé (hm ³)	/	180 (155 MAO + Kramis)	55	55 SDEM Mosta	30 (5 stations exp 4 en cours de réalisation)	320	
Besoins	AEP	51	05 Kramis	4 (Nombre de puits 28)	38	/	47
	Irrig.	170	2.5 Kramis	170 surexploité	/	/	172.5
	AEI	07	/	/	07	/	07
Bilan	/	+ 172.5	- 119		+ 30	202.5	

1.3. Situation de l'irrigation

Malgré les faibles ressources hydriques de la région, le développement de l'activité agricole s'est considérablement développé provoquant une importante sollicitation des eaux souterraines, au point où, sur la totalité de l'eau utilisée pour l'irrigation (cf. fig. 02), la majorité est annuellement soutirée de la seule nappe du plateau. La situation actuelle de l'irrigation et sa problématique de développement sont le résultat d'une évolution historique dans laquelle il faut distinguer l'absence des Grands Périmètres Irrigués (GPI) au profit de la Petite et Moyenne Hydraulique (PMH) qui est devenue la principale consommatrice d'eau et, où des mesures d'économie s'imposent.



Figure 02. SAU irriguées des régions agricoles de la Wilaya de Mostaganem (2016)

2. Résultats et discussions

2.1. Mobilisation de l'eau d'irrigation et superficies irriguées

Avec une superficie agricole utile de 132 268 ha soit 91% de la superficie agricole totale 144 778 ha, aucune véritable extension n'a été réalisée depuis 2007 au niveau de la wilaya Mostaganem. Toutefois, la situation de la région qui est à vocation agricole s'est sensiblement améliorée au niveau de la superficie irriguée.

Les productions agricoles en irrigué proviennent de la PMH malgré les pénuries d'eau, où la totalité est pratiquée en individuelle vue l'absence totale des périmètres irrigués. La superficie irriguée par la PMH en 2017 a mobilisé un volume d'eau de 172.50 Hm³. L'approvisionnement en eau de la PMH se fait essentiellement à partir des eaux souterraines et subsidiairement des prises au fil de l'eau où chaque exploitation individuelle prélève l'eau sans contrainte particulière tant que la ressource existe. Donc, il s'agit de la réduction des PMH correspondant à une économie d'eau grâce à l'introduction de nouvelles techniques d'irrigation.

2.2. Répartition des systèmes d'irrigation par région agricole

En matière d'irrigation il est fondamental de ne pas confondre les concepts de demande et de besoins en eau. Chaque système technique d'irrigation peut être caractérisé par un jeu de coefficients d'efficacité ou de pertes depuis la mobilisation, en passant par l'adduction, le stockage éventuel, la distribution et le mode d'arrosage à la parcelle. Compte tenu de la pénurie d'eau, les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte sont de plus en plus populaires que les systèmes gravitaires car ils utilisent moins d'eau. Dans le cadre du Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau (PDARE), la conversion du système d'irrigation gravitaire à une technique plus efficace tel que le goutte-à-goutte a été réussie avec succès en 2016 (cf. fig. 03). Malgré cette amélioration remarquable au niveau de la mobilisation en eau à la parcelle, la surexploitation des ressources en eaux souterraines mobilisables pour l'irrigation dépasse souvent les besoins économiques et sociaux des « zones productrices ».

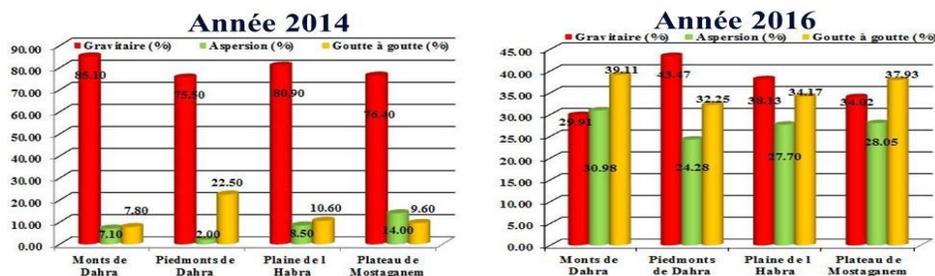


Figure 03. Répartition des systèmes d'irrigation par région agricole (2014 & 2016)

2.3. Activités agricoles et irrigation

Les résultats montrent que la majorité des cultures irriguées (35 029 ha) sont concentrées sur le plateau de Mostaganem (cf. fig. 04). Les cultures maraichères dominent, elles sont prépondérantes dans toutes les régions agricoles de la wilaya sauf dans les Piémonts du Dahra (cf. fig. 04). Le développement des cultures maraichères fortes consommatrices d'eau explique l'importance du volume d'eau affecté à la spéculation maraichère [4].

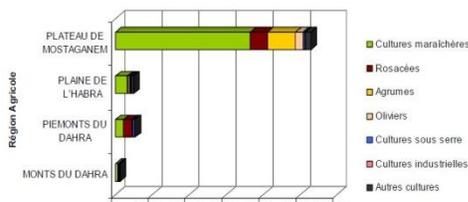


Figure 04. Répartition des cultures par région agricole (2016)

Conclusion

Environ 20% de la SAU totale de la Wilaya de Mostaganem est irriguée, avec une dominance du maraichage et de l'arboriculture fruitière. Les ressources en eaux souterraines sont fortement exploitées dans toutes les zones favorables à l'agriculture irriguée. La dimension stratégique et vitale de l'eau caractérisée par sa rareté et la pénurie impose une politique de sa mobilisation maximale et d'exploitation rationnelle. Lorsque la concurrence pour des ressources en eau limitées augmente, l'irrigation se voit encore davantage contrainte de modifier et d'adapter les politiques et institutions, dont celles qui régissent les droits sur l'eau et les systèmes d'attribution.

Pour éviter de répercuter fatalement le déficit en eau d'ici l'an 2025, l'agriculture de la wilaya peut l'utiliser plus efficacement que ne le font les pratiques actuelles. L'accent devrait être mis sur l'amélioration du rendement de l'irrigation en modernisant les systèmes d'irrigation, en accroissant leur performance et en planifiant mieux leur application. Il existe des technologies assurant un transport efficace de l'eau du site de prélèvement jusqu'au champ et une distribution aux cultures avec un minimum de pertes. Elles sont progressivement appliquées dans les zones où l'eau est rare.

Toutefois, avec la nouvelle politique de l'eau les grands périmètres irrigués (GPI) sont supposés bénéficier dans l'avenir surtout de la réaffectation de barrages à l'irrigation, mais aussi de la production des nouvelles ressources d'eau non conventionnelles (stations de dessalement, la réutilisation des eaux usées épurées etc.) tout en assurant sa qualité. Le maintien de l'irrigation est essentiel pour garantir l'augmentation des rendements afin de produire plus pour une meilleure sécurité alimentaire.

Références

- [1] FAO, Agriculture mondiale: Horizon 2015/2030, une étude de la FAO, Rome, (2002).
- [2] B. Touati, Les barrages et la politique hydraulique en Algérie: Etat, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable, Thèse de doctorat d'état, Université Mentouri - Constantine, Algérie (2010).
- [3] M. Nichane & M.A. Khelil, Changements climatiques et ressources en eau en Algérie: Vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation, Larhyss Journal, March, n°2, 15-23 (2015) 1112-3680.
- [4] A. Abaab, P. Campagne, M. Elloumi, A. Fragata & L. Zagdouni, Agricultures familiales et politiques agricoles en Méditerranée: Enjeux et perspectives. Montpellier, CIHEAM, Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches, n° 12 (1997) 7-27.

**Evaluation agro environnementale des techniques de CES
dans la commune de Sehoul² (Maroc atlantique)**

Nadia MACHOURI

Université Mohammed V, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines.

Département de Géographie. Centre des études et de recherche géographique. Rabat, Maroc.

Email : nadiamachouri@gmail.com **Résumé :**

Dans cet article, nous avons procédé à l'évaluation du fonctionnement hydrologique des différentes occupations du sol afin de démontrer, à travers l'utilisation d'une méthodologie pluridisciplinaire, les capacités et les limites de diverses techniques de conservation des eaux et des sols adoptées à contribuer à l'inversion du processus de désertification dans la commune de Sehoul.

Mots clés: Evaluation, techniques de conservation des eaux et sols, Maroc

**Agro-environmental assessment of SWC techniques
In the Sehoul commune (Morocco atlantic)**

Abstract:

In this paper, we evaluated the hydrological functioning of the various land uses, through the use of a multidisciplinary methodology, in order to assess the capabilities and limitations of various water and soil conservation techniques in mitigating desertification process in the Sehoul commune.

Key Words: Evaluation, water and soil conservation techniques, Morocco

Introduction

Au Maroc, les techniques traditionnelles de conservation des eaux et des sols sont encore largement pratiquées, particulièrement dans les zones au relief accidenté et dans les milieux à tendance aride [1]. Dans la commune de Sehoul (Fig.1), objet de notre étude, malgré l'ampleur et l'ancienneté des phénomènes érosifs, les pratiques antiérosives développées par les populations locales restent modestes et insuffisantes [2]. Il semble que la dominance de l'activité pastorale, a largement incité les paysans à garder leurs champs ouverts, permettant le déplacement des animaux d'un champ à l'autre, sans obstacle. Il est aussi clair que l'absence des affleurements rocheux permettant la construction des cordons, des seuils et des murettes forts bien utilisés dans les ouvrages de CES au Maroc, peut expliquer en quelque sorte l'absence des ouvrages apparents et efficaces.

Malgré les multiples efforts déployés pour l'amélioration du bien être de la population de la commune de Sehoul, particulièrement dans le cadre du Projet de Mise en Valeur des terres en Bour (PMVB 2002- 2005) et le plan d'horticulture dans le cadre du plan Maroc vert, les terres ne cessent de se dégrader, à la fois dans les parcours et dans les terres de cultures [3]. C'est ainsi que nous procédons dans cet article à l'évaluation du fonctionnement hydrologique des différentes occupations du sol et de démontrer, à travers l'utilisation d'une méthodologie pluridisciplinaire, les capacités et les limites de diverses techniques de conservation des eaux et des sols adoptées pour contribuer à l'inversion du processus de désertification dans la commune de Sehoul [4] [5].

¹Cet article est basé sur les résultats des travaux de recherche menés dans le cadre du projet de recherche DESIRE «Desertification, Mitigation and Remediation of land; a global approach for locals solutions», projet de la Chaire UNESCO-GN.

Les résultats de cette recherche visent à permettre aux décideurs et aux acteurs locaux d'identifier les pratiques et les techniques permettant la mise en place d'une gestion conservatoire du milieu et le développement durable de la commune de Sehouil [5].

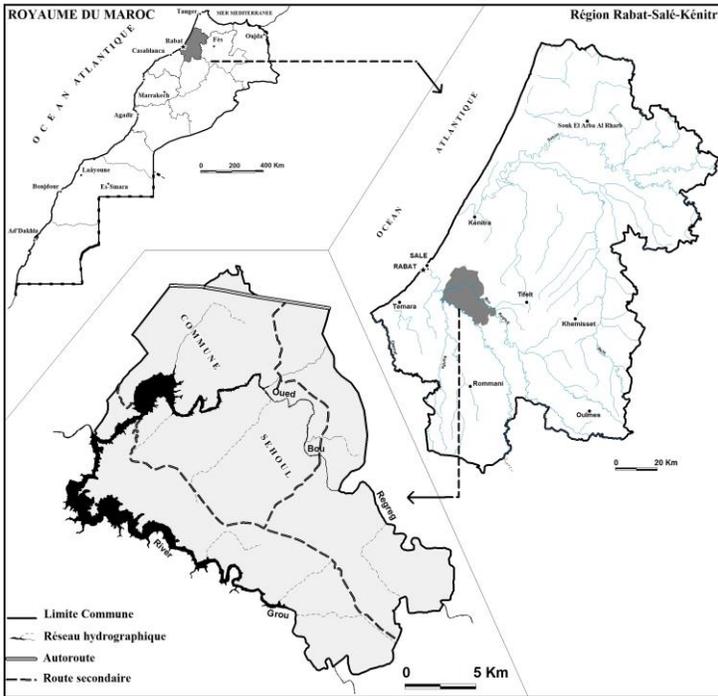


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

I. Matériels et méthodes

Pour réaliser cette évaluation, nous avons adopté une méthodologie pluridisciplinaire [3] [4] [5]., il s'agit de la réalisation de mesures sur le terrain (mesures quantitatives de la végétation, notamment du recouvrement et de la phytomasse aérienne des strates herbacées, arbustives et arborées, ainsi que de la diversité floristique; de simulations de pluie, mesure du ruissellement et mesure d'infiltration, et de mesures des états de surface du sol notamment l'humidité du sol, la cohésion du sol, la résistance à la pénétration et la pierrosité; ainsi que des mesures au laboratoire (la détermination de la production fourragère de la végétation, fertilité et stabilité de la structure des sols).

En fonction des formes d'occupation des terres, ces mesures ont été faites sous 8 faciès de la forêt de chêne liège : 4 Sites situés dans des parcelles de Chêne liège naturel de différentes densités, 2 Sites situés dans des parcelles de régénération assistée de Chêne liège et 2 Sites situés dans des parcelles de plantation artificielle d'Eucalyptus et de Pin. Au niveau des terrains agricoles, les mesures ont été réalisées dans 13 sites d'échantillonnage : 8 Sites situés sous cultures pluviales, 2 Sites situés au niveau de l'arboriculture, 1 Site situé dans un champ de cultures fourragères et 2 Sites situés au niveau de la jachère.

Les mesures ont été réalisées, durant la période mars-avril, lors de deux campagnes de mesure, la première en 2008 et la deuxième en 2009. Le nombre des échantillons réalisés, diffère selon le paramètre de mesure, le type d'utilisation du sol et la surface de la parcelle, alors, que leur répartition est effectuée d'une manière aléatoire. L'exécution du relevé s'effectue chaque fois que l'on observe un changement de la végétation, de la pente, de l'exposition et de la nature de l'unité morpho-pédologique.

2. Résultats et discussions

2.1. La technique de régénération du chêne liège (Domaine forestier)

L'absence de régénération naturelle du chêne liège au niveau de la forêt de Sehoul pourrait être attribuée à différents facteurs, la pression très forte du parcours, le ramassage des glands, les prélèvements ligneux excessifs. En plus l'état dégradé des arbres ne permet pas de donner des fruits de qualité avec un pouvoir germinatif performant [6]. Devant cette situation les services forestiers, n'ont pas tardé à prendre des mesures d'urgence, en particulier l'intensification des travaux de la régénération assistée du Chêne liège, dans les zones où cette espèce noble peut se reproduire.

Les résultats de l'étude ont montré que la régénération assistée de chêne liège présente plusieurs avantages sur le plan environnemental :

-Élévation du taux de recouvrement de la végétation herbacée : Les résultats du recouvrement moyen des herbacées, de la litière, et du sol nu obtenus par la méthode point quadrat montrent qu'au niveau de la parcelle de régénération assistée de chêne liège mise en défens, on enregistre le recouvrement des herbacées le plus important, en moyenne de 70% de la surface du sol en 2008 et 82% en 2009. Et on enregistre le taux de sol nu le plus faible au niveau de toute la forêt (seulement 1% du recouvrement total en 2008). Au niveau de la parcelle Reg2.OP, ouverte au pâturage, le recouvrement des herbacées est plus important par rapport aux autres parcelles (67,5% en 2008 et 76,5% en 2009), alors que le recouvrement moyen des herbacées dans la parcelle de chêne liège épars ne dépasse pas 21%.

- Augmentation du taux des herbacées pérennes : La parcelle de régénération mise en défens est la plus riche en espèces pérennes autres que l'asphodèle; ces espèces représentent 5% de la surface du sol, alors qu'elles ne représentent que 3% au niveau de la parcelle de régénération ouverte au pâturage et ne dépassent pas 1% dans la parcelle de Chêne liège normal (Fig.2). Ces résultats montrent qu'il y a une amélioration de la qualité de la végétation herbacée et signifient aussi que pendant la saison d'automne, le sol est protégé par cette végétation pérenne.

-Augmentation de la biodiversité floristique : La parcelle de régénération assistée de chêne liège mise en défens, représente le nombre le plus important d'espèces végétales, soit 25 espèces/m². La parcelle de régénération ouverte au pâturage, renferme 20 espèces/m², ce qui est important en comparaison avec le Chêne liège normal, clair et épars qui renferment respectivement 18, 19 et 16 espèces/m². Dans la parcelle de reboisement d'Eucalyptus et de Pin on enregistre le nombre le plus faible d'espèces, respectivement 13 et 14 espèces/m².

-Amélioration des états de surface du sol : Dans la parcelle de régénération assistée de chêne liège mise en défens, on enregistre le taux d'humidité le plus important (26,16%) alors qu'au niveau la parcelle de régénération ouverte au pâturage ce taux ne dépasse pas 18%, mais cette valeur reste supérieure à celle enregistrée au niveau de la parcelle de Chêne liège naturel dense.

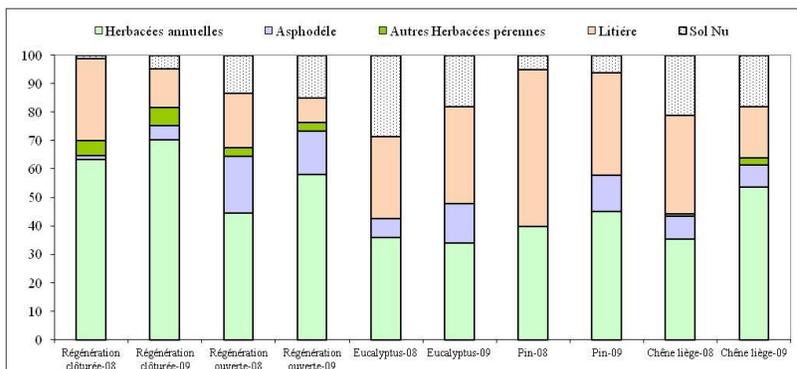


Figure 2 : Recouvrement moyen des herbacées dans la forêt de Sehoul (avril 2008 et avril 2009)

- Augmentation de l'infiltration (Fig.3): Dans la parcelle de régénération de chêne liège mise en défens, le taux d'infiltration initiale est 5 fois plus élevé que dans la forêt ouverte au pâturage. Dans cette dernière il y a un refus de l'infiltration par hydrophobie, d'où le déclenchement du ruissellement et son débordement sur les terres agricoles avoisinant la forêt dégradée.

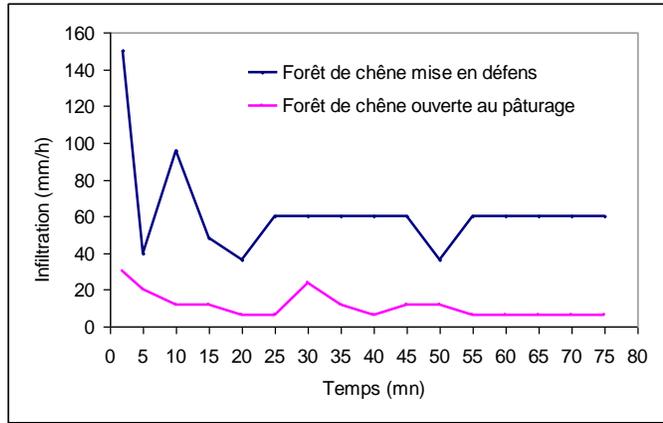


Figure 3 : Evolution de l'infiltration (avril 2008)

-Amélioration de la fertilité du sol : Les teneurs importantes en matière organique, carbone organique et azote total au niveau de la parcelle de régénération mise en défens, favorisent l'activité microbienne et permettent une bonne structuration du sol; Ce qui favorise l'infiltration et le recouvrement très important des herbacées malgré la présence d'une strate arbustive riche en cistes. Après l'ouverture du parcours, on remarque que ces teneurs deviennent plus faibles mais restent comparables à celles enregistrées au niveau de la parcelle de Chêne liège épars.

- Réduction de la perte en sol : La parcelle de régénération de chêne liège ouverte au pâturage a enregistré un ruissellement qui s'est manifesté dès les six premières minutes (Fig.4); alors que la parcelle mise en défens n'a pas ruisselé même après 60min de simulation de pluie.

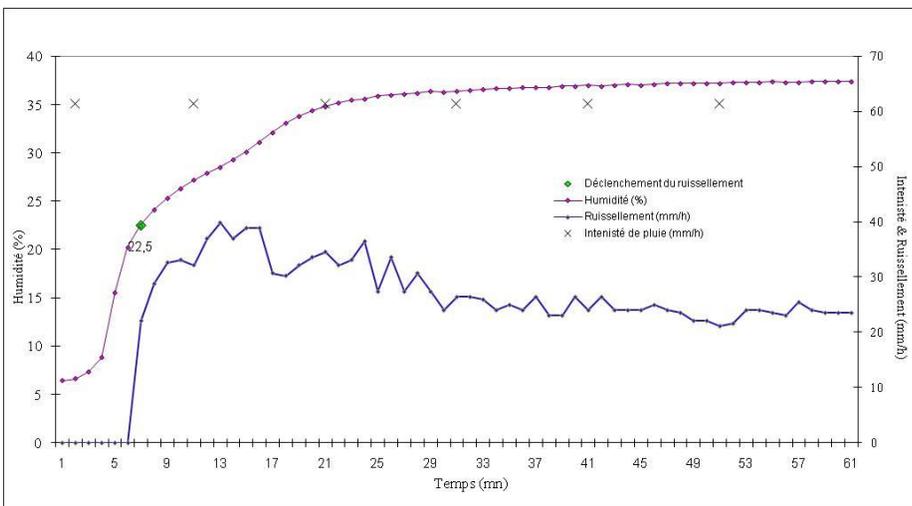


Figure 4 : Résultat de simulation de pluie : Evolution du ruissellement et de l'humidité dans la parcelle de régénération de chêne liège ouverte au pâturage

Le coefficient de ruissellement atteint 18 % au niveau de la parcelle de régénération de chêne liège ouverte au pâturage, alors qu'il ne dépasse pas 2% au niveau du chêne liège naturel. Ceci peut être expliqué par la valeur élevée de la résistance à la pénétration enregistré au niveau de la parcelle ouverte au pâturage et qui atteint 4,21 kg/cm². Ce tassement de sol est le résultat du piétinement des troupeaux des douars limitrophes qui sont attirés vers cette parcelle récemment ouverte au pâturage après 9 ans de mise en défens et qui représente un recouvrement important des herbacées (76,5%).

2.2. Les rotations culturales céréales/légumineuses dans le bour

La rotation culturale constitue une évolution dans le système de culture céréalière et répond à une logique d'économie de moyens et d'utilisation optimale du capital terre [7]. Sur le plan environnemental, les indicateurs sur la structure du sol, le recouvrement et la fertilité, donnent un certain avantage en matière d'équilibre des terres là où est pratiquée la rotation culturale.

-Accroissement de la protection du sol en lui procurant une meilleure couverture végétale : Dans les champs de céréales, à la suite d'un précédent de légumineuses, le recouvrement végétal du sol atteint 65,5%, alors que dans les champs de monoculture, ce recouvrement ne dépasse pas 52%.

-Le maintien et l'amélioration de la fertilité du sol : La rotation avec des légumineuses favorise la fixation d'azote dans le sol, permettant ainsi une amélioration de sa qualité. Dans la parcelle de rotation Légumineuses/ Céréale, le taux de la matière organique est de 2,21% alors qu'il ne dépasse pas 1% dans la monoculture ; le taux d'azote est de 0,11% dans la rotation et seulement 0,05% dans la monoculture.

- Réduction de la perte en terre : Au cours de la simulation, la parcelle de rotation Légumineuses/ Céréale, le ruissellement s'est déclenché après 65min de simulation. Alors qu'au niveau de la parcelle Céréale/Céréale le ruissellement s'est déclenché dès les dix premières minutes de simulation.

Le déclenchement tardif de ruissellement dans la rotation Légumineuses/Céréale, est lié essentiellement à la rugosité de surface, au taux de recouvrement de blé. Cette couverture végétale joue un rôle important dans l'atténuation du ruissellement à travers l'interception de l'énergie cinétique des gouttes de pluie.

Le coefficient de ruissellement dans la parcelle fève/blé tendre est de l'ordre de 2,5%, alors qu'il atteint 8,6% dans la parcelle de rotation blé/avoine. Ceci peut être expliqué par la présence de la croûte de battance qui occupe tout l'espace malgré l'existence d'un couvert végétal dense d'avoine.

2.3. Les rotations culturales céréales/légumineuses fourragères, exemple du lupin

Le lupin, comme légumineuse fourragère, montre une parfaite adéquation avec les milieux fragiles par ses caractéristiques biologiques [7]. Il peut être à la fois utilisé comme fourrage vert, comme moyen de lutte contre la dégradation des sols, et même comme moyen de régénération des sols fortement dégradés.

La culture de lupin présente plusieurs avantages sur le plan environnemental :

-Une meilleure couverture végétale : Par son feuillage dense le lupin permet une bonne couverture du sol et par conséquent une augmentation de l'infiltration. Le recouvrement des herbacées dans la parcelle de lupin atteint 65%, alors qu'il ne dépasse pas 49% dans la jachère d'un an, 38% dans la jachère de 10ans et seulement 24% dans le matorral.

-Augmentation du taux de matière organique dans le sol : Au niveau de la parcelle de lupin, le taux de la matière organique atteint 1,46% supérieur au taux enregistré dans les parcelles de jachère, d'avoine et d'orge. Le lupin, plante nitrophile, enrichit par ailleurs le sol en azote.

-Augmentation de la production fourragère : Comparé à d'autres cultures fourragères le lupin permet une amélioration en production fourragère. Il offre une meilleure quantité de phytomasse. Dans la parcelle de lupin, on enregistre la phytomasse d'herbacées la plus importante qui atteint 34275KgMV/ha, alors qu'on enregistre seulement 18583 KgMV/ha dans la parcelle d'orge la culture fourragère la plus répondue dans la région.

- Réduction du ruissellement : Le lupin joue un rôle important dans la conservation des eaux et sol, il améliore nettement le drainage du sol puisque les champs cultivés en lupin ruissellent moins que les autres occupations du sol. Les résultats des mesures sur parcelle sous pluie naturelle montrent que pour les mêmes événements pluvieux la parcelle cultivée de lupin ruisselle beaucoup moins que les parcelles de blé, jachère, friche et sol nu. Les valeurs de la résistance à la pénétration, de la cohésion du sol et le taux d'humidité permettent de classer la culture de lupin dans une position avantageuse en comparaison avec la monoculture céréalière.

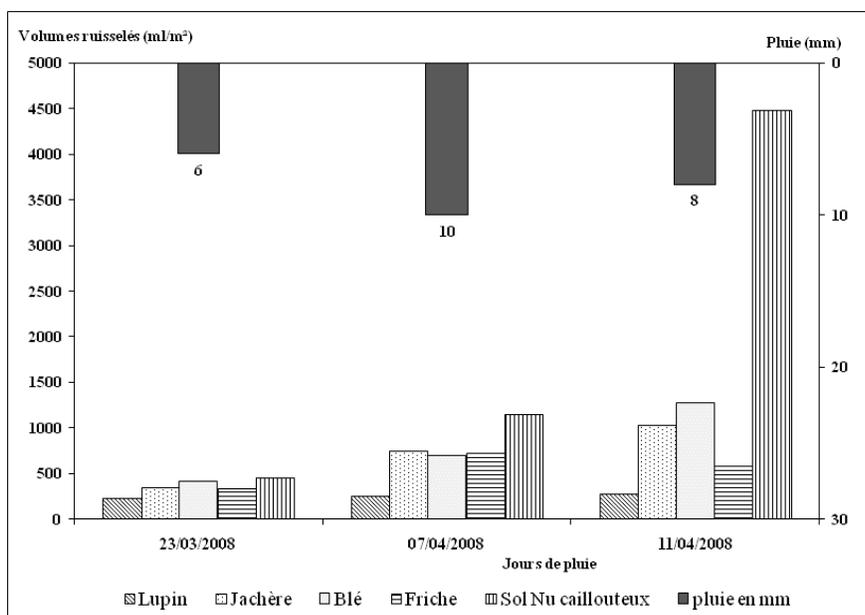


Figure 5 : Résultats de mesure sur parcelle sous pluie naturelle

2.4. L'arboriculture pluviale associée à une culture annuelle (exemple : l'oléiculture)

Dans la commune de Sehoul, l'olivier est la deuxième espèce fruitière plantée après la vigne. Il est soit cultivé seul, soit en association avec d'autres espèces fruitières. Dans le cadre du projet de mise en valeur en bour (PMVB), il a été recommandé de le planter en intercalation et en ligne, dans des champs de cultures annuelles, d'une part pour améliorer la productivité de ces champs et dans une perspective de CES.

L'arboriculture pluviale associée à une culture annuelle présente plusieurs avantages :

-Amélioration de l'état de surface du sol : Dans la parcelle d'olivier de 15 ans, le taux d'humidité dépasse le taux enregistré dans la céréaliculture. Ceci peut être expliqué par le recouvrement important des arbres qui atteint 65%.

-Amélioration de la structure du sol : Dans la parcelle d'olivier de 15 ans, on a enregistré le taux de matière organique le plus important (4,31%), dépassant ainsi le taux enregistré au niveau des parcelles de céréaliculture et de légumineuse. Ceci peut être expliqué par l'apport régulier du fumier et la présence des feuilles des arbres.

- Réduction du ruissellement et amélioration de l'infiltration : Dans la parcelle d'avoine le ruissellement s'est déclenché dès les dix premières minutes, alors que la parcelle d'olivier n'a pas ruisselé après 60min de simulation. Le fait que le ruissellement ne s'est pas manifesté dans les champs d'oliviers s'explique donc essentiellement par le procédé de plantation (alignement des arbres), par l'installation des impluviums qui jouent le rôle de petits réservoirs captant l'eau ruisselée, mais aussi par le labour en courbes de niveau

favorisant l'infiltration et enfin par l'arrêt du tassement que provoquait le troupeau dans les champs et la conservation de résidus de culture dans les espaces séparant les lignes d'arbres et qui ne sont pas pâturés.

Conclusion

L'évaluation des pratiques existant dans la région de Sehoul aboutit à un certain nombre de recommandations en terme de viabilité et de pertinence.

Dans la régénération assistée de chêne liège, le coût élevé de mise en place et les contraintes sociales de parcours font que les opérations de régénération restent pratiquement de l'ordre de l'expérimentation, sur de toutes petites surfaces. Or, c'est réellement à ce jour, la seule technique de réhabilitation possible pour le chêne liège dans la région, du fait du vieillissement de la formation et de l'absence totale de régénération naturelle par semis.

La pratique de la rotation culturale contribue à la conservation de l'eau et à l'amélioration de la structure du sol et de sa stabilité structurale ainsi que l'amélioration de sa fertilité. En plus, la rotation permet l'accroissement de la protection du sol et la réduction de la perte en terre. Les légumineuses fourragères contribuent à l'alimentation du bétail. L'intérêt du lupin est double car son apport en protéines est élevé et il permet la valorisation des terres légères, en raison de sa capacité à bien pousser sur les sols peu fertiles; les reliquats azotés importants sont valorisés par la culture suivante.

La rotation culturale a aussi des avantages économiques, notamment la diversification de la gamme des cultures pratiquées, ce qui offre la possibilité de réduire le risque des mauvaises récoltes, l'amélioration du niveau de rendement des céréales en grain et en paille et la baisse des quantités d'engrais utilisées.

L'arboriculture est une technique de CES qui ne peut être favorable en terme de protection et conservation des sols qu'après plusieurs années de l'installation (plus de 7ans); par ailleurs elle peut présenter un conflit avec le pâturage qui donne un revenu immédiat, quoique en baisse continue.

Références

- [1] A. Laouina, Conservation des eaux et des sols au Maroc, la prise en compte de la diversité géographique, *Noroi*, 214, (2010), 85-99.
- [2] A. Laouina, M. Aderghal, J. Al Karkouri, M. Chaker, I. Machmachi, N. Machouri, M. Sfa, Utilisation des sols, ruissellement et dégradation des terres, le cas du secteur Sehoul, région atlantique, Maroc. *Science et changement planétaire/Sécheresse*. Volume 21, Numéro 4, (2010), 309-316.
- [3] N. Machouri, A. Laouina, M. Chaker, Mesures de la végétation et des états de surface du sol pour l'évaluation du fonctionnement hydrologique, application aux techniques de CES dans la commune des sehoul. *Proceedings de la Réunion multi-acteurs sur le bassin du Bouregreg*. Publié par l'Association de Recherche en Gestion Durable des Terres (ARGDT). (2013). 103-118.
- [4] N. Machouri, Comment réussir le défi de lutte contre l'érosion des terres et contre la dégradation des ressources naturelles cas des Sehoul (plateaux du Maroc atlantique). *Proceedings of the International Scientific Workshop "Relations homme/environnement et transports solides: une approche spatialisée"*. Relizane, Algérie, 2-5 juin (2012).
- [5] N. Machouri, The potential for SLM, facing human constraints, the case of the semi-arid agro-pastoral lands in the Atlantic plateaus, morocco. *Proceedings of The General Assembly of the European Geosciences Union (EGU)*. Vienne, Autriche, avril 22-27 (2012).
- [6] N. Machouri, La dégradation des subérais atlantiques marocaines: entre fragilité naturelle, actions anthropique et techniques de gestion forestière (Le cas de quatre subérais atlantiques). *Revue de Géographie du Maroc (RGM)*, Nouvelle série, Volume 27, N°1-2, (2012), 61-78.
- [7] A. Laouina, M. Chaker, M. Aderghal, N. Machouri, J. Al karkouri, Sfa M, Approche pour l'adoption d'une gestion durable des terres fragiles. *Revue de Géographie du Maroc (RGM)*, Nouvelle série, Volume 27, N°1-2, (2012), 5-23.
- [8] N. Machouri, Assesment of the land use types and water soil conservation techniques. *Proceedings of the International conference "Practitioners implementing the Water Framework Directive"*. School of geography, University of Leeds, Leeds, Angleterre, January 17 (2012).
- [9] M. Aderghal, M. Chaker, A. Laouina, N. Machouri, Lutte contre la dégradation des terres, Développement local et Acteurs du territoire, les leçons d'une recherche action dans la commune des Sehoul (Région de Rabat, Maroc). *Revue Géographie et développement au Maroc "GéoDev.ma"*. <http://revues.imist.ma/index.php?journal=GeoDev> (2013), pp. 22.
- [10] Laouina A., Coelho C., Ritsema C., et al (2004). Dynamique de l'eau et Gestion des terres dans le contexte du changement global, analyse agro-hydrologique dans le bassin du Bouregreg (Maroc). *Sécheresse* vol.15, n°1 (2004), 66-77.

Colloque International



Ressources en Eau & Changement Climatique:

Impacts anthropiques et climatiques sur la variabilité des ressources en eau

Eau-Société-Climat 2017 (ESC-2017)

Sommaire

Caractérisation qualitative et quantitative des ressources en eau

Descroix Luc (IRD LMI PATEO, UMR PALOC IRD/MNHN, Sénégal, - France), Richard Lalou, Yasmin Bouaita, Robert Diatte, Pape Y. Ndiaye, Honoré Dacosta, Anastasie Mendy, Raymond Malou, Marie-Jeanne Senghor

Salinité et salinisation de la nappe phréatique du centre du bassin arachidier sénégalais.

Amina Besselma (Université de Mostaganem - Algérie), Mohamed Abbou, Amina Hamadi, Mohamed Larid

Evaluation des efficacités de l'utilisation de l'eau au niveau du périmètre irrigué de la Mina (Algérie, Nord-Ouest)

Ben Elkheir Abderrahman (Université Kasdi Merbah, Ouargla - Algérie), Zeddouri Aziez, Hadj-said Samia, Satouh Adel, Taringa Lahcen, Taupin Jean Denis, Leduc Christian

Configuration du système aquifère de la région de Tamanrasset (Sud de l'Algérie): application des méthodes géophysiques à l'établissement d'un schéma conceptuel.

Bentahar kheira (Université des sciences et de la technologie D'Oran Mohamed Boudiaf - Algérie), Yebdri djilali

Planification et gestion des ressources en eau

Fatah Bouteldjaoui (Ecole Nationale Polytechnique Alger - Algérie), Ahmed. Kettab, Mohamed. Bessenasse, Laila Oualkacha

Apport de l'analyse statistique multi variée de l'hydrogéochimie et de la géostatistique à l'étude des eaux souterraines : cas de la plaine d'ain oussera Algérie

Philippe Martin (Université d'Avignon- France) Pierre-Alain Ayrat, Ingrid Canovas, Patricia Cicille, Jean-François Didon-Lescot, Jean-Marc Domergue, Annick Douguédroit, Nadine Grard, Saliou Kamara, Christian Lopez, Sylvie Morardet, Sophie Sauvagnargues

HydroPop : une nouvelle façon d'aborder la question du partage de l'eau en situation de basses eaux en France métropolitaine méridionale

EIHabiri Sid Ahmed (Université de Tlemcen - Algérie), Didi Mohamed Amine

Extraction du mélange de Terbium (III) et Fer (III) par imprégnation de membrane liquide en utilisant D2EHPA / TOPO comme support mobile.

Nacira Chabi Tahenni (Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et l'Aménagement du littoral - Algérie), Fouzia Houma Bachari

Simulation de la qualité de l'eau de mer de la zone côtière Oranaise par modélisation numérique en combinant avec les données multi-sources satellites.

Chidmi Emna (Faculté des Sciences de Tunis - Tunisie), Mounira Zammouri

L'application de la loi de Darcy pour le calcul de débit d'alimentation de la nappe de la Djefara par la nappe du Continental Intercalaire.

Houria Bendiaf (Université de Tlemcen- Algérie), Omar Abderrahim, Mohamed Amine Didi

Etude de l'efficacité d'une nouvelle résine phosphonate dans la sorption de La(III) à partir des solutions aqueuses

Mimouni oumria (Université d'Oran 2 Mohamed ben Ahmed – Algérie), Lasgaa Moussa

Problématique des eaux potables dans les hautes plaines occidentales (Saida Algérie).

Ahmed Salem Mohamed, (Ecole Supérieure Polytechnique de Nouakchott – Mauritanie), C Leduc, C Marlin, MA Sidi-Cheikh, P. Vincent

Comportement hydrodynamique et géochimique d'une nappe côtière soumise à des contraintes naturelles et anthropiques sévères. Cas de la nappe de Nouakchott, Mauritanie

Soulef Azizi (Université Larbi Ben Me Hidi - Algérie), Tahar Sehili

Amélioration de la dégradation photocatalytique de l'isoproturon par addition d'accepteur d'électron en

présence d'une petite quantité de bioxyde de titane en solution aqueuse.

Abdelaziz Abdallaoui (Université Moulay Ismail - Maroc), Hind Omari, Adil Lammini, Ali Dehbi

Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption du phosphore sur les sédiments aquatiques de

l'Oued Boufekrane (Maroc)

Lamia Mammeri (Université des Frères Mentouri Constantine- Algérie)

Effet d'un agent complexant de fer « l'acide citrique » vers le procédé photo-fenton pour le traitement d'eau polluée par l'orange G

Hamadi Amina (Université de Mostaganem - Algérie), Larid Mohamed

L'eau d'irrigation entre mobilisation et modes d'utilisation agricole : Cas de la wilaya de Mostaganem (Algérie Nord-Ouest).

Nadia Machouri (Université Mohammed V, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines) Evaluation agro environnementale des techniques de CES dans la commune de Sehoul (Maroc atlantique)

