

# JOURNAL INTERNATIONAL

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

ISSN (electronic): 1737-9350

ISSN (printed): 1737-6688

Volume 1 - Numéro 1 - Avril 2014

## Eau-Climat'2014



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

**Ressources en Eaux de Surface en Région Méditerranéenne**

**Rédacteur en Chef : Pr Nouredine Gaaloul**

**Publié par :**

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

"وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ"

سورة الأنبياء آية 30

# Comité Scientifique International

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

## Préface



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

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

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

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

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

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

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

**Noureddine Gaaloul**  
**Professeur de l'Enseignement Supérieur Agricole (INRGRF)**  
**Président de l'ASTEE *Tunisie***  
**Président et Coordinateur Eau-Climat'2014**

## Sommaire

<b>Ressources en Eaux de Surface en Région Méditerranéenne</b>	<b>6</b>
<b>Bouzid Touati</b> (Univ. Constantine - Algérie) <i>Gestion de l'eau en Algérie : entre rareté de la ressource et diversification des modes de mobilisation.</i>	<b>7</b>
<b>Jean-Pierre Montroi</b> (IRD - France), Nizinski J.J., Zaghoul A., Ali R, Saber M. <i>Optimisation de l'utilisation des ressources en eau exemple de l'orangerie d'El-Salam, Nord Sinai, Egypte.</i>	<b>12</b>
<b>Belaribi Fatima Zohra, Amine Mokheffi</b> (Univ. Abou Bakr Belkaid - Algérie), N. Bessouh <i>La gestion des ressources en eau en Algérie : enjeux et perspectives.</i>	<b>17</b>
<b>Farès Nini</b> (Univ. Constantine - Algérie) <i>L'amélioration des conditions hydrauliques dans les Grands Périmètres d'irrigation (G.P.I.) du Nord Est Algérien.</i>	<b>21</b>
<b>Kheira Ahmane</b> (Faculté de droit d'Oran - Algérie), Kettab A., Bennaçar N. <i>La gestion déléguée des services publics de l'eau et de l'assainissement en Algérie: Aspects légaux et expériences réussies.</i>	<b>25</b>
<b>Zouhir Boulgueraguer</b> (Univ. Badji Mokhtar - Algérie), Chaffai H., Djorfi S., Lakaichi A., Bahroune S. <i>Contribution à la gestion intégrée des ressources en eau dans le sous bassin versant amont de l'oued bousselam.</i>	<b>29</b>
<b>Lamyaa Kacem</b> (Univ. Marrakech - Maroc), Agoussine M., Igmoullan H., Mokhtari S. <i>Evaluation de la qualité microbiologique des ressources en eaux dans une zone montagneuse rurale, la Haute vallée de Tifnout (haut Atlas marocain).</i>	<b>33</b>
<b>Mohammed Machkor</b> (Univ. Moulay Ismail - Maroc), Lahcen MESSAOUDI <i>Diagnostic et actions menées sur les eaux de retenue de barrages au Maroc pour lutter contre le phénomène d'eutrophisation.</i>	<b>37</b>
<b>Abdelghani Boudhar</b> (Univ. Sultan Moulay Slimane - Maroc), Lahoucine H., Boulet G., Outaleb K., Arioua A., Ben Kebbour B., Hakkani B. <i>Etude de l'influence du couvert nival sur les eaux de surface du bassin versant d'Oum Er Rbia au Maroc</i>	<b>41</b>
<b>Taoufik Hermassi</b> (INRGREF - Tunisie) <i>Modélisation Hydro-sédimentaire à l'échelle de la parcelle.</i>	<b>46</b>
<b>Hallouz Feiza</b> (ENSH - Algérie), Meddi M., Mahé G. <i>Calcul des flux par les méthodes de : <math>\log(C)=f \log(Q)</math> et <math>\log(QS)=f \log(Q)</math>, relations tronquées et comparaison de la validité de ces courbes de transport dans l'estimation des flux</i>	<b>50</b>
<b>Zieneb Zamrane</b> (Faculty de Science Semlalia Marrakech-Maroc), B. Laignel, I. Turki, N. Laftouhi, G.Mahé <i>Analyse de la variabilité annuelle et inter-annuelle des précipitations et des débits du bassin de Tensift (Maroc) par la méthode des ondelettes</i>	<b>54</b>
<b>Belkacem Merzouk</b> (Univ. Mohamed Boudiaf M'sila - Algérie), Benslemma O., Amour A. <i>Diagnostic de la qualité physicochimique des eaux de l'oued k'sob – Algérie.</i>	<b>57</b>
<b>Sakina Khallef</b> (Univ. Kasdi Merbah - Algérie), Yagoubat M., Menouche D., Bouchkima B. <i>Déchets d'épuration des eaux usées urbaines : Essai d'hygiénisation</i>	<b>61</b>
<b>Saad Benammar</b> (LSEVU - Maroc), Maissour Abdellah <i>Contextualisation du référentiel floristique pour l'utilisation des macrophytes comme bio indicateurs de l'état des cours d'eau du bassin hydraulique du Sebou au Maroc</i>	<b>66</b>
<b>Ahmed Ferhati</b> (ENP - Algérie), Mitchite Kettab R., Djafer K H <i>Modélisation d'infiltration à travers un barrage en terre.</i>	<b>70</b>
<b>Sakina Khallef</b> , Mounira Yagoubat, Djamel Mennouche, Bachir Bouchekima <i>Déchets d'épuration des eaux usées urbaines: essai d'hygiénisation</i>	<b>75</b>

# Ressources en Eaux de Surface en Région Méditerranéenne



## **Gestion de l'eau en Algérie : entre rareté de la ressource et diversification des modes de mobilisation**

Bouzid TOUATI

*Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire, Université Constantine 1, Algérie. +213 319 302 61162 [touatibz@yahoo.ca](mailto:touatibz@yahoo.ca)*

### **Résumé**

L'entrée de l'Algérie dans le troisième millénaire, s'est effectuée sous le triple choc de la sécheresse, de la pollution et de la croissance spectaculaire des besoins consécutifs à l'augmentation de la population. La réponse à cette situation est à chercher dans la diversification des sources d'approvisionnement. Pour cela, des solutions coûteuses sont nécessaires. Il s'agit de l'utilisation des eaux non conventionnelles.

**Mots clés** : dessalement, régénération, transfert, interconnexion.

## **Water management in Algeria: between scarcity and alternative mobilization**

### **Abstract**

The entry of Algeria in the third millennium is carried out under the triple shock of drought, pollution and the spectacular growth of consecutive increasing needs of the population. The answer to this situation is to seek to diversify sources of supply. For this, expensive solutions are necessary. It is the use of non-conventional waters.

**Keywords**: desalination, regeneration, transfer, interconnection.

## Introduction

L'Algérie est confrontée au problème de l'adéquation entre son effectif démographique et la disponibilité de l'eau. La consommation de celle – ci est en nette augmentation aussi bien pour l'agriculture et l'industrie que pour les ménages. Cependant, durant près de deux (02) décennies, le pays tente de rattraper le retard en matière de mobilisation des ressources hydriques et semble ne plus être exposé au stress hydrique et au déficit chronique d'eau et ce grâce aux différentes réalisations opérées par le secteur de l'hydraulique, marquées par des projets grandioses que sont les transferts, la construction de grands barrages, leur interconnexion, le dessalement, la régénération des eaux usées ainsi qu'une gestion plus appropriée.

**Les potentialités en eau superficielle** : l'Algérie manque-t-elle d'eau ?

La question peut sembler indécente. Elle se pose pourtant à propos des mesures à prendre. Faut-il envisager des travaux de captation de grande envergure, forcément coûteux, ou bien opérer des économies et des choix judicieux dans les usages de l'eau ? Deux points doivent alors être envisagés : l'évaluation des ressources théoriques et les disponibilités réelles en matière d'eau douce. Aujourd'hui, la croissance pluviométrique est une réalité qui se confirme. L'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH, 1993) [1] signalait des moyennes pluviométriques inférieures d'environ 10 % par rapport à celles de la série de CHAUMONT et PAQUIN (1971) [2]. Selon le Ministère des Ressources en Eau [3], celles-ci seraient passées à 30 % entre 1975 et 2010. Toutefois, plusieurs auteurs s'accordent à dire que l'apport total des précipitations en Algérie serait de l'ordre de 130 milliards de m<sup>3</sup> par an. De ce potentiel, l'ANRH estime le volume mobilisable à 17 milliards de m<sup>3</sup>/an. Pour l'heure, seuls 7 milliards peuvent être mobilisés. Ce volume répond largement au besoin de la population qui est raccordée au réseau d'AEP de manière très satisfaisante.

**Taux de raccordement aux réseaux : une avancée notable**

Tab n° 1 : pourcentage des logements raccordés aux réseaux d'AEP et d'assainissement Source :[4] et [5]

années	logements raccordés aux réseaux d'AEP	logements raccordés aux réseaux d'assainissement
1966	37	23
1977	46	40
1987	58	52
1998	71	66
2008	90	81

## Les besoins

Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m<sup>3</sup>, ce qui plaçait le pays dans une situation confortable, elle n'était plus que de 500 m<sup>3</sup> en 1999 (CNES 2000) [6]. Elle ne sera plus que de 430 m<sup>3</sup> en 2020 et 300 m<sup>3</sup> en 2050. Paradoxalement, on observe une intensification de la consommation d'eau par habitant, liée à l'accroissement démographique et aux conséquences qui en découlent. Elle est passée de 1.200 Hm<sup>3</sup> en 1995 à 3.500 Hm<sup>3</sup> aujourd'hui. Elle sera de 4,4 milliards de m<sup>3</sup> en 2020. Pour répondre à cette demande la politique hydraulique a été essentiellement basée, dans un premier temps, sur la construction des barrages qui s'est distinguée par plusieurs phases :

**1962-1980 : une période dirigiste marquée par l'absence de politique hydraulique.**

L'héritage colonial en matière d'infrastructures hydrauliques se limitait à 15 ouvrages pour un volume de 910 millions de m<sup>3</sup> et se concentraient principalement à l'ouest du pays. Jusqu'en 1970, la politique de l'eau a été une continuité de ce qui avait prévalu dans les années 1960, marquée par l'absence de réalisation d'ouvrages hydrauliques. Jusqu'au début des années 1980, seuls trois (03) nouveaux barrages ont été achevés.

**-1980-1999 : le réveil hydraulique**

A partir du milieu des années 1980, et suite à une longue période de sécheresse, une politique plus hardie a été entreprise. Le résultat est la réalisation de 19 barrages en à peine 6 ans (1984-1990), portant le total à 37 ouvrages et un volume de stockage égal à 4 milliards de m<sup>3</sup>. La décennie 1990-2000 a connu un fléchissement important dû à deux raisons, l'une sécuritaire, l'autre financière quand le pays connaissait d'énormes difficultés d'apport de capitaux. Le résultat est que seuls 7 barrages furent mis en service.

**A partir de 2000 : l'augmentation de la cadence des réalisations**

Le second réveil 'hydraulique' ou la nouvelle prise de conscience a été opéré en 2002 grâce à l'embellie financière. Pas moins de 13 barrages furent mis en eau. Ainsi, en 2010, 60 barrages étaient en exploitation avec un volume régularisé global de près de 7 milliards de m<sup>3</sup>. Enfin, en 2014 et selon le Ministère des Ressources en Eau, le nombre de barrages en service et ceux en construction est de 84.

Tab n° 2: évolution et répartition des barrages par période de réalisation et par régions Source [3]

Période	Ouest	Cheliff	Centre	Est	total
Jusqu'en 1962	5	4	2	4	15
1962-1980	7	4	2	5	18
1980-1990	11	9	7	10	37
1990-2000	13	9	8	14	44
2000-2010	16	12	12	20	60
2000-2014	4	2	5	13	84



Malheureusement, ces efforts considérables, ne permettent pas de rattraper, encore, le retard que le pays a accumulé car la montée des besoins est importante. Ce dilemme a incité les pouvoirs publics à lutter, d'abord, contre le gaspillage de l'eau puis à recourir aux nouvelles technologies que sont, la régénération des eaux usées, les transferts et l'interconnexion des barrages, le dessalement de l'eau de mer sans se départir des forages et de l'élargissement du programme de construction des barrages.

#### **Le gaspillage : un préjudice physique et financier insidieux**

L'eau prélevée et non restituée à l'aval constitue l'eau consommée. La distinction entre 'eau prélevée' et 'eau consommée' est à la base de l'économie de l'eau. Le progrès avenir consistera à consommer une part de plus en plus grande de l'eau prélevée. Ainsi, la mise en place de politiques d'économie des eaux est impérative. Le domaine agricole est de ce point de vue particulièrement concerné (le goutte à goutte, par exemple, est peu utilisé par l'agriculteur algérien).

Ce gaspillage concerne également les villes où les canalisations sont souvent vétustes et mal entretenues. Les pertes d'eau en réseau restent considérables. Pourtant, annuellement, des injections financières importantes sont opérées pour la réfection du réseau.

Ainsi, les prélèvements d'eau qui sont en constante évolution, sont injectés dans un réseau de distribution extrêmement "perforé". Le taux de fuite est passé de 20 % en 1975 à 50 % en 2000, pour redescendre ces dernières années entre 30 et 40 %. Autrement dit et pour un taux de perte moyen de 30 %, il faut produire 1.000.000 m<sup>3</sup> pour vendre un volume de 700.000 m<sup>3</sup>. A seulement 6 DA le m<sup>3</sup>, c'est près de 2 millions de DA de perte.

Les fuites chez les particuliers sont, elles aussi, assez importantes. Il suffit d'imaginer ce que représente une fuite de 0,01 litre/seconde pour mesurer le volume gaspillé. En 24 heures se sont 864 litres qui sont perdus et en une année ce sont 315.360 litres perdus, ce qui occasionne une perte financière de près de 2.000 DA par foyer. En somme, les pertes seraient de 31.536.000 m<sup>3</sup>/an (capacité d'un barrage) et un préjudice financier de 2 millions de DA pour 100.000 abonnés.

Les pertes d'eau constituent, donc, un problème majeur car elles représentent non seulement un gaspillage en matière hydrique, mais également un gaspillage financier. Des dépenses importantes sont engagées pour mobiliser une ressource nouvelle (réalisation de barrages ou de forages, transfert, dessalement, traitement), au lieu d'être injectées pour réparer les différentes fuites. Car, réduire les fuites et différer la réalisation d'un investissement serait plus avantageux.

#### **La régénération des eaux usées: une technique très peu développée et un potentiel en eau à valoriser**

Les volumes d'eaux usées, rejetés à travers les réseaux d'assainissement ont été évalués à 1.200 Hm<sup>3</sup> en 2010, cependant, les possibilités de réutilisation (au regard du parc des stations d'épuration actuelles), elles, sont estimées à 600 Hm<sup>3</sup> à cette date. Ce volume passera à 2.000 Hm<sup>3</sup> à l'horizon 2020. Un tel potentiel, une fois épuré, sera très apprécié quant à son utilisation par l'agriculture, l'industrie (refroidissement et lavage des machines) et d'autres usages.

De cette « manne » actuelle, et avec un taux de récupération de 25 à 30 %, il est possible de disposer d'un volume de 300 à 360 hm<sup>3</sup>. Pour expliquer cette défaillance, ne faut – il pas aller chercher les raisons dans la sous qualification du personnel, dans la non maîtrise de la technique de dépollution ou encore dans des préjugés (religieux) qui ont peut être dissuadé les autorités de réutiliser « l'eau impure ». A Boumerdès par exemple, seulement 9 % de l'eau épurée est utilisée par 2 fellahs. Il n'empêche que des stations sont en cours de réalisation et d'autres sont en projet. Ceci témoigne de l'engouement récent et certain pour ce genre d'infrastructures qui constitue un appoint non négligeable en matière de ressource en eau et que l'assainissement, s'il venait à être sérieusement pris en charge, aura des répercussions positives non seulement sur l'environnement mais sur bien d'autres secteurs. Notamment sur celui de la santé publique surtout quand on sait ce que coûtent à l'Etat les maladies à transmission hydrique, cycliques, de plus en plus fréquentes.

L'évolution quantitative des stations d'épuration est assez lente et leur fonctionnement parfois aléatoire, leur nombre reste très limité et leur capacité de traitement assez modeste. Près de 100 STEP sont, aujourd'hui en service mais ne traitent qu'environ 7 millions Eq/hab.

#### **Le dessalement de l'eau de mer: une option irréversible et une ressource en eau inépuisable mais onéreuse**

Dans le cadre de la nouvelle politique de l'eau, et compte tenu que le pays dispose d'un atout considérable (1.200 km de côte), beaucoup d'experts préconisent le recours à la technique du dessalement de l'eau de mer. Même si elle nécessite de lourds investissements, cette technique est à promouvoir. Cependant, l'eau dessalée à grands frais doit être destinée exclusivement à la seule consommation domestique. Le prix du mètre cube dessalé revenait entre 70 et 80 DA. Celui-ci est calculé sortie d'usine. Il faut y ajouter le prix de la distribution évalué à environ 25 DA. Le coût théorique final se situait donc autour de 100 DA en 2002. En 2007 celui-ci a chuté de moitié pour s'établir entre 45 et 55 DA le m<sup>3</sup>.

L'Algérie prévoit de produire, d'ici 2016, quelques 2,6 millions de m<sup>3</sup> d'eau potable dessalée par jour par la réalisation de 12 stations. Elle a donc "choisi de se tourner résolument vers la mer", en initiant un programme de dessalement d'eau de mer en réalisant une "chaîne de stations le long du littoral où se concentre la majorité de la population.

Dans un pays semi-aride comme l'Algérie, le recours à cette technique est devenu une option incontournable malgré deux obstacles majeurs : le coût élevé du dessalement et la maîtrise du procédé technologique. Il est, cependant difficile de recourir à cette ressource avant que les fuites ne soient réduites considérablement.

Des stations sont aujourd'hui déjà opérationnelles. L'accent est mis surtout au niveau de l'Ouest qui vit une crise d'eau. L'unité d'Arzew, inaugurée en 2005, produit une moyenne de 90.000 m<sup>3</sup>/j destinés aussi bien aux différentes installations industrielles de la plateforme pétrochimique d'Arzew qu'au réseau domestique de la SEOR (société des eaux d'Oran).

La station de dessalement de l'eau de mer d'El-Hamma (Alger) produit, quotidiennement, 200.000 m<sup>3</sup> soit 30 % de la consommation actuelle d'eau potable dans l'agglomération algéroise. L'usine de dessalement de Cap-Djinet (Boumerdès), produit 100 000 m<sup>3</sup>/jour.

#### **Le transfert d'eau et l'interconnexion : des projets structurants à impact régional.**

Face aux demandes en eau de plus en plus croissantes, les tensions sur l'eau sont devenues tellement importantes, qu'elles requièrent, désormais, une mobilisation d'eau de grande ampleur ce qui a incité les pouvoirs publics à opérer de grands transferts, massifs et onéreux. C'est véritablement des autoroutes de l'eau dont il est question. De nombreuses infrastructures de mobilisation ont déjà été réalisées ou sont en cours de réalisation.

- le M.A.O. (Mostaganem – Arzew – Oran) à partir des eaux de surface du bassin de Chellif, à l'ouest,
- le complexe de Beni Haroun à l'est, permet l'alimentation en eau potable de 6 wilayas (Jijel, Mila, Constantine, Oum El Bouagui, Batna et Khenchela) et l'irrigation de 30.000 ha. Il constitue l'aménagement hydraulique le plus imposant jamais réalisé dans le pays.
- In Salah – Tamanrasset au sud, ce transfert d'eau à grande distance (750 km) pourrait même, par des aqueducs inter régionaux, relié le sud aux hauts plateaux.

Quant à l'interconnexion des ouvrages hydrauliques, elle répond au souci de fournir de l'eau aux régions consommatrices et souffrant d'un déficit chronique à partir de régions productrices :

- l'approvisionnement d'Oran est assuré, coté Ouest grâce aux barrages de Beni Bahbel et Sidi Abdelli (Tlemcen) et coté Est grâce au triplex hydraulique Ouizert, Fergoug et Bouhanifia (Mascara).
- pour Alger, il a été opéré l'interconnexion de 4 barrages : Ghrif (Ain Defla), Bouroumi, Boukerdane (Tipaza) et Taksebt (Tizi Ouzou).
- Le barrage de Zardezas a été relié à celui de Guenitra pour répondre aux besoins des utilisateurs de Skikda. De plus, depuis 2002 et suite à la grande pénurie, une autre liaison avec le barrage de Zit Emba a été opérée.
- Autre transfert non moins important est celui du sétifois. Il est conçu à partir des deux grands barrages destinés, initialement, à la production hydro-électrique, Ighil Emda et Erraguène. Il est scindé en deux systèmes et nécessitera la construction de trois barrages réservoirs.

#### **La gestion de l'eau et de ses établissements : pour une gestion intégrée, concertée et participative.**

Une radiographie de la politique de l'eau fait ressortir de grands investissements dans le secteur alors que les résultats demeurent mitigés en raison des structures, des textes et d'une gestion en perpétuel changement. La gestion de l'eau en Algérie était "défaillante" à cause de la "vision trop sociale" ayant prévalu dans la définition des différentes politiques mises en œuvre dans le domaine de l'hydraulique. Les organismes de gestion ne sont apparus qu'assez tardivement. Il fallait attendre 1977, pour que le secrétariat d'Etat à l'Hydraulique soit érigé en ministère de l'Hydraulique. 1985 verra la création de l'agence nationale des barrages (ANB), l'agence gestion de l'eau potable et industrielle et de l'assainissement (AGEP) réaménagée en 2005 en ONID (office national de l'irrigation et du drainage) et l'agence de gestion des infrastructures de l'irrigation et du drainage (AGID). L'année 2001, verra la création de l'algérienne des eaux (ADE) et de l'office national de l'assainissement (ONA). Même si le secteur de l'hydraulique regorge de compétences nombreuses et pointues, il se trouve classé au rang d'activité subsidiaire. Ainsi, pas moins de 6 ministres se sont succédés en 6 ans, à la tête du secteur. Autre exemple, non moins important est celui de l'Agence du Bassin Hydrologique du Sahara (ABHS) créée en 1996 et qui n'est devenue opérationnelle qu'à la fin de mars 2003. Aujourd'hui, parce que l'accès à l'eau est un droit pour tous, de l'argent il en faut pour l'eau. Il en faut beaucoup. L'Etat a, donc, été amené à consentir des investissements sans cesse croissants. Evalués à 4 milliards de DA, au début des années 1970, ils passent à 12 milliards de DA en 1990, à 40 milliards de DA en 2000 et à près de 300 milliards de DA en 2009. L'Algérie a, donc, un problème de management en matière de gestion et non de financement. C'est pour cela qu'elle a opté pour un autre mode de management appelé la gestion déléguée de l'eau. Le démarrage eut lieu à Alger en mars 2006 par la création de la Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAL). Le contrat, fut signé le 28 novembre 2005 avec le groupe français Suez Environnement pour une durée de cinq (5) années et d'un montant de 117 millions de euros/an. Il a pour partenaire l'Algérienne Des Eaux (ADE) et l'Office National de l'Assainissement (ONA). Ce contrat porte essentiellement sur la rénovation et la modernisation du réseau.

Cette option sera suivie par les autres grandes villes : Oran, Annaba et Constantine. Elle portera sur le transfert de technologie, la réhabilitation du réseau de distribution, de l'assainissement et la formation de cadres :

- Oran : sa gestion déléguée a été signée le 20 novembre 2007 entre la société des eaux d'Oran (SEOR) et la société espagnole Agbar, filiale de Suez Environnement, pour un montant de 30 millions d'euros/an et pour une durée de 5 ans.
- Annaba : le contrat a été signé le 12/12/2007 entre la société des eaux et d'assainissement d'El Tarf et d'Annaba (SEATA) et la société allemande Gelsen Wasser pour une durée de 5 ans et pour un montant de 50 millions d'euros/an, résilié avant terme.
- Constantine : le contrat de management a été signé le 24 juin 2008 entre la société des eaux et de l'assainissement de Constantine (SEACO) et la société des eaux de Marseille (SEM), il s'échelonne sur une durée de 5 ans pour un montant de 45 millions d'euros/an. Le contrat a été prorogé de quelques mois en avril 2014.

Cela étant insuffisant, il est impératif que les jalons d'une véritable politique de l'eau soient posés car il s'agit de l'EAU et non d'une eau. Aussi, s'il y a un domaine où la qualité du management devrait être priorisée pour devenir la clé de la réussite, c'est bien précisément celui des ressources hydriques.

## Conclusion

Le problème de l'eau est certes vu sous de nouveaux angles ; gestion déléguée, métier de l'eau, rigueur, économie... mais force et de constater que les fuites sont toujours présentes et aussi importantes.

Bien plus qu'un problème de gestion, c'est un problème d'irrationalité, puisque après sa mobilisation et son traitement, deux opérations excessivement onéreuses, l'eau est à 30 voire 40 % perdue à partir des canalisations.

Voilà brièvement, un état de la situation de l'eau en Algérie. Un état contrasté avec des motifs d'espoir autant que d'inquiétude. Aujourd'hui, nous sommes relativement loin de la gestion administrée et incontrôlée d'un passé récent, mais pas encore totalement inscrit dans un processus rationnel du moment que le coût et les pertes ne sont pas encore maîtrisés.

## Références

- [1] ANRH (1993) : Plan de développement 2010. Alger.
- [2] CHAUMONT, M., PAQUIN, C. (1971). Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle 1/500 000e, 4 feuilles + notice. Soc. Hist Nat. Afrique du Nord, Alger, 25 p.
- [3] MINISTERE DE S RESSOURCES EN EAU (2014)
- [4] MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT (2004) : « Projet SNAT 2025, bilan sectoriel et spatial, mission I rapport I », Alger juillet 2004, 499 p.
- [5] Office National des Statistiques (2010) « Annuaire statistique de l'Algérie ».
- [6] CONSEIL NATIONAL ECONOMIQUE ET SOCIAL (2000), Rapport de la 4<sup>e</sup> session « Avant projet de rapport ' L'eau en Algérie : le grand défi ' »

## Optimisation de l'utilisation des ressources en eau. Exemple de l'orangerie d'El-Salam, Nord Sinaï, Egypte

Jean-Pierre Montoroi<sup>1</sup>, Jerzy Jan Nizinski<sup>1</sup>, Alaa Zaghoul<sup>2</sup>, Rafat Ramadan Ali<sup>2</sup>,  
Mohamed Saber<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut of Research for Développement (IRD), JRU « IEES Paris », 32 avenue Henri Varagnat, Bondy, France

[jean-pierre.montoroi@ird.fr ; georges.nizinski@ird.fr]

<sup>2</sup> National Research Centre (NRC), Soils and Water Use Department, Dokki, Cairo, Egypt  
[alaazaghoul2002@yahoo.com ; bediertop@yahoo.com ; msaber1941@yahoo.com]

### Résumé

L'orangerie El-Salam, située au Nord-Sinaï, a été choisie comme station d'étude « étalon » pour mener des études relatives au mode de gestion de l'irrigation de précision, avec, comme perspective, la mise au point d'un modèle utilisable pour d'autres cultures en Egypte. La modélisation de l'évapotranspiration réelle (ETR) est réalisée avec un pas de temps d'une journée selon l'approche de Penman-Monteith qui tient compte de la spécificité d'un couvert végétal, notamment sa résistance. Les variables d'entrée du modèle sont les données météorologiques standard du réseau national. La comparaison des apports en eau d'irrigation ( $I_{\text{moy}}$  de 994,30 mm an<sup>-1</sup> ou 2,72 mm jour<sup>-1</sup> ; coefficient cultural  $ETR/E_p$  de 0,78) et des besoins en eau calculés par le modèle ( $ETR_{\text{calculée}}$ ) permet de proposer une gestion quotidienne de l'irrigation plus économe en eau. D'avril à août, l'eau d'irrigation en excès (drainage hors de la zone racinaire) est de 94.570 m<sup>3</sup> pour l'orangerie de 80 ha, soit 1.182 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

**Mots clés :** Irrigation, Evapotranspiration réelle, Orangerie, Nord-Sinaï, Egypte

## Optimization of the use of water resources. Example of the El-Salam orange grove, North Sinai, Egypt

### Abstract

The El-Salam orange grove, located in North Sinai, was selected as a "benchmark" study station for conducting studies on the management of precision irrigation, with a view to developing a model usable for other irrigated crops in Egypt. The modeling of the actual evapotranspiration ( $E_a$ ) is performed with a one-day step resolution using the Penman-Monteith approach which takes in account the specificity of the vegetation cover, namely its resistance. The input variables of the model are the standard meteorological data of the national network. The comparison between the amounts of the irrigation water ( $I_{\text{moy}}$  of 994.30 mm year<sup>-1</sup> or 2.72 mm day<sup>-1</sup>; crop coefficient  $E_a/E_p$  of 0.78) and the water needs estimated by the model ( $E_a$  calculated) enables to propose a daily water management more water saving. From April to August, the irrigation water in excess (drainage outside of the root zone) is of 94,570 m<sup>3</sup> for the orange grove of 80 ha, thus 1,182 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

**Key Words:** Irrigation, Actual evapotranspiration, Orange grove, North Sinai, Egypt

## Introduction

Comme la plupart de pays méditerranéens, l'Egypte souffre d'un manque d'eau récurrent qui nécessite pour l'agriculture des compléments par irrigation. Traversant du nord au sud le pays, le fleuve Nil fournit l'essentiel de l'apport par un réseau complexe d'aménagements hydrauliques. La production d'agrumes, notamment *Citrus sinensis*, est localisée le long du Nil et dans son delta et fait de l'Egypte un des douze premiers pays exportateurs dans le monde. En milieu aride ou semi-aride, la gestion parcimonieuse de l'eau par une irrigation de précision est impérative, notamment en contrôlant les doses d'irrigation et en limitant les pertes par évapotranspiration réelle (ETR) des plantes. L'irrigation de précision par goutte à goutte se développe dans de nombreux périmètres irrigués. Pour économiser l'eau, il faut optimiser les doses d'irrigation d'un couvert végétal donné en considérant le coefficient cultural (rapport ETR/Ep), selon [1], qui est déterminé à partir (i) de l'équation du bilan hydrique de la zone racinaire, méthode peu précise pour les calculs de l'ETR des couverts épars en zone semi-aride ; (ii) de la valeur de l'évapotranspiration potentielle (Ep) faisant référence à un gazon bien alimenté en eau. L'application du coefficient cultural aux plantations de Citrus est discutée par [2]. La mesure directe et précise de l'ETR est possible expérimentalement par la méthode du rapport de Bowen (Bowen, 1926) pour les couverts homogènes et la méthode des corrélations pour les situations plus complexes [3]. A partir d'un site, choisi comme station « étalon », la présente étude a pour objectifs : (i) caractériser une orangeraie et acquérir des données bioclimatologiques locales ; (ii) modéliser l'ETR journalière ; (iii) comparer les apports par irrigation aux besoins en eau calculés par la modélisation.

## I. Matériels et méthodes

### I.1. Site d'étude

L'orangeraie d'El-Salam est située au nord-ouest de la péninsule du Sinaï, en limite avec le delta du Nil et à 16,5 km à l'est du canal de Suez (Figure 1). Elle appartient à la région sud d'El-Kantara Shark qui domine au nord la plaine alluviale d'El-Tina de quelques dizaines de mètres. La région côtière du Nord Sinaï est soumise à un climat de type aride (saharien), très chaud et très sec, s'adoucisant en bordure de la Mer Méditerranée. La pluviométrie moyenne annuelle (Pi) du site d'étude est comprise entre 43 mm à Ismailia, 86 mm à Port-Saïd et 118 mm à El-Arish sur la période 1989-1999 [4]. A El-Arish, pour la période 2005-2010, [5] indique une Pi moyenne de 95,4 mm et les valeurs journalières moyennes du rayonnement global (21,6 MJ m<sup>2</sup>), de la durée d'insolation (9,1 h), de la température de l'air (20,3°C), de l'humidité relative de l'air (66,6%), de la vitesse du vent (8,2 km h<sup>-1</sup>) et de l'Ep (3,48 mm, selon [6]).



**Figure 1.** Localisation de l'orangeraie d'El-Salam (cercle rouge)

L'orangeraie d'El-Salam a une superficie totale de 80 ha et produit des mandarines et des oranges douces (ou blondes) dont la variété « Valencia late » est greffée sur le porte-greffe *Citrus Volkameriana*. Une parcelle de 1,89 ha a été sélectionnée pour l'étude expérimentale. Elle a reçu en juin 2005 des plantules (diamètre 6 cm et hauteur 60 cm) disposées en rangs. Les rangs sont espacés tous les 6 m et comporte un arbre tous les 4 m, soit un total de 24 rangs et 756 arbres (400 arbres ha<sup>-1</sup>). L'orangeraie est équipée d'un système d'irrigation par goutte-à-goutte. L'eau d'irrigation, mélange entre des eaux de drainage et l'eau du Nil, est acheminée par le canal Ouest-Est d'El-Salam qui croise en souterrain le canal de Suez et permet la mise en valeur agricole de nouvelles terres au Nord Sinaï [7]. La région sud d'El-Kantara Shark forme une plaine d'origine éolienne dont les sols sont constitués par des couches successives de sables quartzitiques d'âge

Holocène [8], [9]. Le sol de l'orangerie d'El-Salam est sableux à environ 80% et présente une très faible fraction argileuse d'environ 2,5% [10].

## 1.2. Description du modèle

Le flux de vapeur d'eau au travers des stomates est proportionnel au gradient de pression de vapeur d'eau et inversement proportionnel à la résistance rencontrée. En adoptant la simplification proposée par [11], la surface évaporante est considérée comme une strate unique dans laquelle la résistance stomatique moyenne du peuplement est la somme des résistances stomatiques moyennes de LAI feuilles. L'évapotranspiration réelle (ETR, en  $\text{mm j}^{-1}$ ) est calculée selon la formule de Penman-Monteith [12] :

$$\text{ETR} = E_p / (1 + (\gamma/(\Delta+\gamma)) (r_{st} / \text{LAI } r_a)) \quad [\text{mm jour}^{-1}] \quad [a]$$

Avec  $E_p$  évapotranspiration potentielle, en  $\text{mm j}^{-1}$ ;  $r_{st}$  résistance stomatique d'une feuille, en  $\text{s cm}^{-1}$ ; LAI indice foliaire du couvert, sans unité;  $r_a$  résistance aérodynamique du couvert, en  $\text{s cm}^{-1}$ .

Lorsqu'une feuille se dessèche, son potentiel hydrique ( $\psi_{\text{feuille}}$ ) atteint un seuil qui est le potentiel hydrique foliaire critique ( $\psi_{\text{feuille lim}}$ ) pour lequel les stomates commencent à se fermer. Le potentiel hydrique foliaire varie selon l'espèce végétale et se situe entre -13 et -25 bars pour les espèces arborescentes. Une équation empirique permet de rendre compte de la variation de la résistance stomatique moyenne ( $r_{st}$ ) en fonction du potentiel hydrique foliaire ( $\psi_{\text{feuille}}$ ), soit :

$$r_{st} = ((r_{st\text{-max}} - r_{st\text{-min}}) / (\psi_{\text{feuille max}} - \psi_{\text{feuille lim}})) (\psi_{\text{feuille}} - \psi_{\text{feuille lim}}) + r_{st\text{-min}} \quad [\text{s cm}^{-1}] \quad [b]$$

En reprenant et transformant les équations [a] et [b], on estime, pour un jour  $j$  donné, le potentiel hydrique des feuilles ( $\psi_{\text{feuille}(j)}$ ) par la relation :

$$\psi_{\text{feuille}(j)} = R (E_p / (1 + (\gamma/(\Delta+\gamma)) (r_{st} / \text{LAI } r_a)) + \psi_{\text{sol}(j)}) \quad [\text{mm j}^{-1}] \quad [c]$$

L'équation [c] est implicite puisque la résistance stomatique dépend du potentiel hydrique des feuilles. Le potentiel hydrique des feuilles le jour  $j$ , tel que l'absorption racinaire ( $\text{ABS}_{i(j)}$ ) soit équivalente à la transpiration ( $T_{r(j)}$ ) avec une évaporation du sol nulle (protection par la litière), est estimé selon la résolution numérique proposée par [13].

La méthode du rapport de Bowen permet de quantifier, pour une période donnée, l'ETR des couverts végétaux et leurs résistances à partir des mesures diurnes des gradients de température et d'humidité de l'air, du rayonnement net et du flux de chaleur dans le sol. On en déduit une ETR journalière et, connaissant l' $E_p$  journalière sur la même période, à partir des données météorologiques standard du réseau national, on estime le facteur  $(1 + (\gamma/(\Delta+\gamma)) (r_{st} / \text{LAI } r_a))$ . L'estimation des variables LAI et  $r_a$  conduit à l'estimation de la résistance du couvert  $r_c$ . Connaissant les valeurs de  $r_c$  et LAI, on peut calculer la résistance stomatique moyenne d'une feuille ( $r_{st}$ ). Le modèle ainsi proposé tient compte de la spécificité du couvert végétal à savoir la résistance du couvert et, en particulier, la relation résistance stomatique - potentiel hydrique des feuilles. Il a été validé à partir des mesures de la teneur en eau et du potentiel hydrique du sol faites en même temps que celles nécessaires à la méthode du rapport de Bowen.

## 1.3. Dispositif expérimental et paramétrisation du modèle

Les mesures relatives à la méthode du rapport de Bowen ont été réalisées du 9 au 24/4/2013, à l'échelle du peuplement de la parcelle étudiée, avec un pas de temps de vingt minutes et en installant les capteurs sur une tour haute de 7 m (UT920, Campbell Scientific®). Les mesures en continu ont été stockées sur une centrale d'acquisition (CR1000, Campbell Scientific®) et ensuite transférées sur un ordinateur portable. Les valeurs journalières moyennes de l' $\text{ETR}_{\text{Bowen}}$  ont été calculées selon [14]. Pour les besoins du modèle et pour comparer avec d'autres travaux, le site d'étude a été paramétré. Il s'agit de mesurer, sur la parcelle étudiée, le nombre d'arbres par hectare, la hauteur moyenne du peuplement, la circonférence des arbres, la surface terrière et l'indice foliaire. La résistance du couvert ( $r_c$ ) et la résistance stomatique d'une feuille ( $r_{st}$ ) en sont déduites. Les valeurs des potentiels hydriques foliaires sont prises dans la bibliographie. L'indice foliaire (LAI), qui est la surface totale des feuilles rapportée à la surface du sol recouvert par celles-ci, est obtenu par une mesure indirecte. Elle consiste à comptabiliser le nombre de feuilles récoltées à l'aide d'une aiguille, utilisée perpendiculairement au sol, chaque mesure étant répétée 300 fois le long d'un rang et tous les 25 cm. La période des mesures correspond à la fin de la saison sèche puis à une nouvelle période de croissance pendant laquelle la biomasse foliaire augmente. Le potentiel hydrique du sol est mesuré par tensiométrie, à l'aide de bougies poreuses saturées en eau et placées à 0,15 cm, 0,25 cm, 0,35 cm et 0,45 cm de profondeur dans le sol. La relation entre la teneur en eau volumique et le potentiel matriciel du sol a été établie à partir de données bibliographiques.

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Caractéristiques morpho-physiologiques de la parcelle d'étude



L'orangerie d'El-Salam présente des caractéristiques comparables à celles obtenues par [15]. Elle forme un peuplement mature (8 ans) qui arrive à son niveau de production optimale pour la variété « *Valencia late* » en passant de 0,09 tonnes ha<sup>-1</sup> en 2007 à 25 tonnes ha<sup>-1</sup> en 2013. La surface terrière est de 9,23 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> pour une circonférence à 30 cm du sol de 52,75 cm. La hauteur moyenne du peuplement est de 2,469 m (± 0,402 m ; N = 756) et l'indice foliaire (LAI) de 4,24 (± 1,399 ; N = 300).

La résistance du couvert végétal dépend des résistances stomatiques des feuilles de ce couvert et de l'indice foliaire. La transpiration du couvert est la somme des transpirations de l'ensemble des feuilles, chaque feuille ayant une résistance stomatique donnée, instantanée, dépendante de ses caractéristiques physiologiques propres et du microclimat auquel elle est soumise. La valeur moyenne journalière de la résistance du couvert ( $r_c$ ), obtenue par la méthode du rapport de Bowen, est de 580,88 s m<sup>-1</sup> (± 215,56 s m<sup>-1</sup> ; N = 615) avec une résistance aérodynamique moyenne ( $r_a$ ) de 137 s m<sup>-1</sup>, pour une hauteur moyenne du peuplement de 2,47 m. Elle est comparable à la valeur de 500 s m<sup>-1</sup> obtenue pour un peuplement de Citrus par [2] à l'aide de la méthode des corrélations.

Connaissant les valeurs de  $r_c$  et LAI, on peut calculer la résistance stomatique moyenne d'une feuille ( $r_{st}$ ), pour un pas de temps de 20 minutes, temps de scrutation de la méthode du rapport de Bowen. Les mesures ayant été faites dans des conditions de disponibilité en eau optimales (plantation irriguée), les résistances stomatiques mesurées sont les résistances stomatiques minimales. La valeur moyenne calculée est de 176,01 s m<sup>-1</sup> (± 91,397 s m<sup>-1</sup>; N = 615) et est proche de celles obtenues sur des peuplements comparables par [16]. Les potentiels hydriques foliaires sont pris dans la bibliographie relative à la variété d'orange « *Valencia late* » [16], soit un potentiel hydrique limite ( $\psi_{\text{feuille lim}}$ ) de -15 bars et un potentiel hydrique maximal ( $\psi_{\text{feuille max}}$ ) de -25 bars.

## 2.2. Apports en eau par irrigation et pertes en eau par évapotranspiration potentielle

Les apports en eau par irrigation s'élevaient à 994,3 mm an<sup>-1</sup>, soit 2,72 mm j<sup>-1</sup>. Pour les mois de mai, juin, juillet et août, les valeurs sont respectivement 89,9 mm ; 105,0 mm ; 167,4 mm et 130,2 mm. Les doses d'irrigation ont été calculées en utilisant un coefficient cultural moyen (ETR/E<sub>p</sub>) de 0,78 (minimum de 0,58 en janvier et maximum de 1,27 en juillet). Le stress hydrique est minimal car la réserve en eau du sol est toujours demeurée à 50 % de la réserve utile. Lorsque les apports en eau sont en excès, il y a drainage interne en profondeur hors de la zone racinaire. En effet, il n'y a jamais de ruissellement à la surface du sol (infiltrabilité minimale) dans la mesure où la nature sableuse du sol favorise l'infiltration de l'eau. La conductivité hydraulique à saturation (K<sub>s</sub>) est estimée à 6,1 10<sup>-6</sup> m s<sup>-1</sup>, soit l'équivalent de 500 mm j<sup>-1</sup>. Sachant que les précipitations annuelles n'excèdent pas 95,4 mm en moyenne et que la dose maximale d'irrigation est de 10 mm j<sup>-1</sup>, l'infiltrabilité minimale n'est jamais atteinte.

L'évapotranspiration potentielle (E<sub>p</sub>) a été calculée selon [6] au pas de temps journalier et, pour chaque mois de l'année, les valeurs journalières sont moyennées. Pour chaque année de la période 2005-2010 et pour toute la période, les valeurs moyennes mensuelles sont indiquées dans [5]. Les pertes en eau par E<sub>p</sub> sont en moyenne de 1271,5 mm an<sup>-1</sup> et de 3,48 mm j<sup>-1</sup>. La valeur moyenne mensuelle est minimale en décembre (2,70 mm j<sup>-1</sup>) et maximale en juillet (4,26 mm j<sup>-1</sup>).

## 2.3. Modélisation de l'évapotranspiration réelle et bilan hydrique

La simulation de l'évapotranspiration réelle de l'orangerie a été effectuée du 1/1/2005 au 31/12/2010 en utilisant la paramétrisation du modèle qui est faite à partir des données de terrain (rapport de Bowen). L'évapotranspiration réelle (ETR) moyenne annuelle calculée sur la période 2005-2010 est de 1.017,7 mm an<sup>-1</sup>, soit 2,79 mm j<sup>-1</sup>. La valeur est très proche des apports annuels d'eau par irrigation (I<sub>moy</sub>) qui est de 994,3 mm an<sup>-1</sup> ou 2,72 mm j<sup>-1</sup>, soit 102,3 % de I<sub>moy</sub>.

La comparaison de l'irrigation moyenne mensuelle avec l'ETR n'est pas suffisante pour analyser la distribution des excès et déficits en eau au cours de l'année. La prise en compte des précipitations incidentes (P<sub>i</sub>) et, plus précisément, des précipitations au sol (P<sub>s</sub>) est nécessaire. Les précipitations au sol (P<sub>s</sub>) résultent de l'interception (I<sub>n</sub>) des pluies incidentes par le couvert végétal (P<sub>s</sub> = P<sub>i</sub> - I<sub>n</sub>). Elles sont estimées à partir du modèle d'interception proposé par [12]. Compte tenu du régime des pluies (averses brèves et intenses) et du type de végétation (plantation en rang), la valeur moyenne de P<sub>s</sub> est égale à 88% de P<sub>i</sub>, soit 83,9 mm an<sup>-1</sup>.

Les comparaisons ETR<sub>calculée</sub> avec I<sub>moy</sub>+P<sub>i</sub> et ETR<sub>calculée</sub> avec I<sub>moy</sub>+P<sub>s</sub> rendent compte de doses d'irrigation proches de l'ETR (de 2 à 5%), entre décembre et mars, et inférieures à l'ETR (de 11 à 15 %), entre septembre et novembre (Tableau 1). En revanche, d'avril à août, les doses appliquées sont fortement surestimées, de l'ordre de 10 à 60%, ce qui se traduit par un drainage hors de la zone racinaire des orangers. Dans le premier cas (ETR vs I<sub>moy</sub>+P<sub>i</sub>), le bilan hydrique est en excès de 96.618 m<sup>3</sup> pour toute la plantation de 80 ha, soit 1.208 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, ce qui correspond à 12,1 % du volume total d'eau d'irrigation (795.440 m<sup>3</sup> an<sup>-1</sup>). Dans le second cas (ETR vs I<sub>moy</sub>+P<sub>s</sub>), le bilan hydrique en excès est de 94.570 m<sup>3</sup> 80ha<sup>-1</sup>, soit 1.182 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, ce qui correspond à 11,9 % du volume total d'eau d'irrigation. Ces valeurs sont à prendre en considération pour l'aménagement hydraulique des sites de production, eu égard au coût élevé d'acheminement de l'eau.

**Tableau I.** Bilan hydrique mensuel et annuel entre les apports (irrigation ( $I_{moy}$ ), irrigation+précipitations incidentes ( $P_i$ ), irrigation+précipitations au sol ( $P_s$ )) et les pertes (évapotranspiration réelle calculée) sur la période du 1<sup>er</sup> janvier 2005 au 31 décembre 2010

	ETR	$I_{moy}$	$P_i$	$I_{moy}-ETR$	$(I_{moy}+P_i)-ETR$	$(I_{moy}+P_s)-ETR$	$I_{moy}-ETR$	$(I_{moy}+P_i)-ETR$	$(I_{moy}+P_s)-ETR$
	$m^3\ 80ha^{-1}$			$m^3\ 80ha^{-1}$			$m^3\ ha^{-1}$		
<b>Janvier</b>	54527	39680	17376	-14847	2529	444	-186	32	6
<b>Février</b>	54273	40320	11683	-13953	-2270	-3672	-174	-28	-46
<b>Mars</b>	60905	54560	5045	-6345	-1300	-1905	-79	-16	-24
<b>Avril</b>	64356	62400	3080	-1956	1124	754	-24	14	9
<b>Mai</b>	67892	71920	13987	4028	18015	16336	50	225	204
<b>Juin</b>	76663	84000	0	7337	7337	7337	92	92	92
<b>Juillet</b>	84526	133920	0	49394	49394	49394	617	617	617
<b>Août</b>	83412	104160	0	20748	20748	20748	259	259	259
<b>Septembre</b>	80429	72000	0	-8429	-8429	-8429	-105	-105	-105
<b>Octobre</b>	72889	49600	13480	-23289	-9809	-11427	-291	-123	-143
<b>Novembre</b>	60747	43200	1761	-17547	-15786	-15997	-219	-197	-200
<b>Décembre</b>	53518	39680	9924	-13838	-3914	-5105	-173	-49	-64
<b>Bilan annuel</b>	<b>814137</b>	<b>795440</b>	<b>76336</b>	<b>-18697</b>	<b>57639</b>	<b>48479</b>	<b>-234</b>	<b>720</b>	<b>606</b>
Excès total				81507	99147	95014	1019	1239	1188
Déficit total				-100204	-41508	-46535	-1253	-519	-582
<b>Bilan avril-août</b>	<b>376849</b>	<b>456400</b>	<b>17067</b>	<b>79551</b>	<b>96618</b>	<b>94570</b>	<b>994</b>	<b>1208</b>	<b>1182</b>
Excès total				81507	96618	94570	1019	1208	1182
Déficit total				-1956	0	0	-24	0	0

## Conclusion

La modélisation de l'évapotranspiration réelle d'une orangerie a été réalisée avec un pas de temps journalier en utilisant l'approche de Penman-Monteith et, comme variables d'entrée, les données météorologiques standard du réseau national. Elle permet de prendre en compte la spécificité du couvert végétal à savoir la résistance du couvert et, en particulier, la relation résistance stomatique-potential hydrique des feuilles. La comparaison des doses d'irrigation avec les besoins en eau calculés par le modèle permet de proposer une gestion quotidienne de l'irrigation plus économe en eau. D'avril à août, l'eau d'irrigation est en excès de 94.570 m<sup>3</sup> pour la plantation de 80 ha, soit 1.182 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Le modèle proposé est un outil fiable pour la gestion de l'irrigation de précision, quelles que soient les cultures (blé, betterave à sucre, fèves, trèfle, petit pois, riz, coton, pastèque, tournesol, maïs) pratiquées dans le delta du Nil. Un des paramètres du modèle (*résistance du couvert et résistance stomatique d'une feuille*) peut être amélioré en prenant en compte l'évolution des stomates (*résistance stomatique minimale*) au cours de leur durée de vie.

## Références

- [1] R.G. Allen, L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith, Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements, Paper 56, Rome, Italy (1998) 300 p.
- [2] G. Rana, N. Katerji, F. de Lorenzi, Measurement and modelling of evapotranspiration of irrigated citrus orchard under Mediterranean conditions, *Agricultural and Forest Meteorology*, 128, 3 (2005) 199-209.
- [3] G. Burba, Eddy Covariance method for scientific, industrial, agricultural and regulatory applications: a field book on measuring ecosystem gas exchange and areal emission rates, LI-COR Biosciences, Lincoln, USA (2013) 331 p.
- [4] M. Abd El-Aziz Hassan, Environmental studies on coastal zone soils of the North Sinai peninsula (Egypt) using remote sensing techniques, *FAL Agricultural Research, Special Issue 238, Braunschweig* (2002) 180 p. and appendices.
- [5] J.P. Montoroi, J.J. Nizinski, M. Lointier, N. Silvera, French-Egyptian project "Sustainable Management of Adverse Impacts on Farming and Soil Ecosystem Associated with Long Term Use of Low Quality Irrigation Water". Progress Report. AIRD-STDF, Bondy, France (2012) 30 p.
- [6] H.L. Penman, Natural evaporation from open water balance bare soil, and grass, *Proceedings of the Royal Society, London, Series A*, 193 (1948) 120-145.
- [7] M. Shaban, E.A. Elsayed, Regression based modeling and numerical simulations for the assessment of water management practices for El-Salam canal project (Egypt), *Nile Basin Water & Engineering J.*, 5, 1 (2012) 66-78.
- [8] M.M. El Shazly, E.S.A. Abdel Gaphour, Genesis formation and classification of soils of the coastal plain of Sinai peninsula, *Egypt J. Soil Sci.*, 30, 1-2 (1990) 59-72.
- [9] R.R. Ali, W.A.M. Abdel Kawy, Remote sensing and GIS to assess the soil suitability for crops in North Sinai (Egypt), *Egypt J. Remote Sensing & Space Sci.*, 10 (2007) 87-106.
- [10] A. Zaghloul, Sustainable Management of Adverse Impacts on Farming and Soil Ecosystem Associated with Long Term Use of Low Quality Irrigation Water, 2<sup>nd</sup> Progress Report, AIRD-STDF, Project ID3033 (2012) 191 p.
- [11] J.L. Monteith, Evaporation and environment. The state and movement of water in living organisms, *Symposia of the Society of Experimental Biology*, New York, Academic Press, 19 (1965) 205-234.
- [12] J.J. Nizinski, B. Saugier, A model of transpiration and soil-water balance for a mature oak forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 47 (1989) 1-17.
- [13] C.W. Rose, G.F. Byrne, G.K. Hansen, Water transport from soil through plant to atmosphere: a lumped parameters model, *Agricultural Meteorology*, 16 (1976) 171-184.
- [14] I.S. Bowen, The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface, *Physical Review*, 27 (1926) 779-787.
- [15] G.J. Hoffman, J.D. Oster, W.J. Alves, Evapotranspiration of mature orange trees under drip irrigation in an arid climate, *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 25 (1982) 992-996.
- [16] S. Cohen, M. Fuchs, S. Moreshet, Y. Cohen, The distribution of leaf area, radiation, photosynthesis and transpiration in a Shamouti orange hedgerow orchard. II. Photosynthesis, transpiration, and the effect of row shape and direction, *Agricultural and Forest Meteorology*, 40, 2 (1987) 145-162.



## La gestion des ressources en eau en Algérie : Enjeux et perspectives.

BELARIBI Fatima Zohra<sup>1</sup>, Amine MOKHFI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire MECAS, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen. Algérie.

E-mail : [Belaribi\\_tl@yahoo.fr](mailto:Belaribi_tl@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Université de Mostaganem, Algérie.

E-mail : [aminemokhfi@yahoo.fr](mailto:aminemokhfi@yahoo.fr)

### Résumé

*L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure qui concerne tous les pays du bassin méditerranéen. En Algérie la gestion de l'eau pose un problème épineux aux autorités, les ressources disponibles sont en deçà des besoins, la vétusté des réseaux d'adduction et la capacité de stockage déficiente entravent la bonne distribution de l'eau aux consommateurs. La dotation journalière par habitant reste faible par rapport aux normes internationales. Les instruments de gestion de l'eau ne sont pas efficaces.*

*Le contrôle de l'eau constitue un enjeu pour l'avenir de l'Algérie car il s'agit de trouver un équilibre entre les usages sans sacrifier un secteur et en évitant les conflits d'usage. En effet, il s'agit à la fois :*

*- d'assurer le développement économique de l'Algérie. (Développement agricole et industriel qui suppose un développement des besoins en eau)  
- et de satisfaire les besoins d'une population qui augmente.*

*Pour ceci notre article tentera de répondre à la question suivante : Quel sont les moyens pour remédier au problème du manque d'eau en Algérie ?*

**Mots clés :** Les ressources en eau en Algérie - Instruments de gestion – Développement durable.

## Management of water resources in Algeria : Challenges and perspectives.

### Abstract

*Sustainable access to water resources is a major concern, respect of all Mediterranean countries. In Algeria the water management poses a serious problem to the authorities. Available resources are inadequate to meet needs; the dilapidated water networks and storage capacity inadequate hinder the proper distribution of water to consumers. Staffing Daily per capita remains low by the international Standards, The instruments of water management are not effective. The water control is a challenge for the future of Algeria, as it is to find a balance between uses without sacrifice one area and avoiding conflicts of use. Indeed, it is both: - To ensure the economic development of Algeria. (Agricultural and industrial development that involves development of water needs- And meet the needs of a growing population. For this our article will attempt to answer the following question: What are the ways to address the problem of water shortage in Algeria?*

**Key Words:** Water resources in Algeria – Instruments of Management - Sustainable Development.

## Introduction

L'eau fait partie de notre environnement naturel tout comme l'air que nous respirons et la Terre qui nous porte et nous nourrit ; Ce rôle fondamental confère, à cette précieuse ressource, une place prépondérante dans toute stratégie de préservation des écosystèmes naturels et de développement durable. L'homme est le responsable pour la protection, le traitement, la gestion de cette ressource naturelle et son développement durable, car il s'agit d'une matière stratégique et essentielle pour la vie et le développement de l'humanité. En Algérie, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. La concurrence que se livrent l'agriculture, l'industrie et l'A.E. P pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau grève d'ores et déjà les efforts de développement de nombreux pays. La pluviométrie moyenne annuelle en Algérie est évaluée entre 95 et 100 109 m<sup>3</sup>. Plus de 80 109 m<sup>3</sup> s'évaporent, 3 109 m<sup>3</sup> s'infiltrent et 12.5 109 s'écoulent dans les cours d'eau. Dans de nombreuses régions, la demande en eau dépasse désormais ou menace de dépasser les possibilités d'approvisionnement. Les stratégies classiques visant à accroître les disponibilités ne suffisent plus à garantir la satisfaction des besoins croissant. Un déficit de 1 milliards de m<sup>3</sup> sera enregistré en 2025 (dans le cas d'une mauvaise gestion de l'eau et d'une non maîtrise des ressources non conventionnelles), A cet effet, la gestion rationnelle des ressources en eau est devenue aujourd'hui une nécessité, voire une obligation, en vue d'assurer un développement harmonieux et durable. [2]

## I. LES CARACTERISTIQUES NATURELLES DU PAYS

Le territoire algérien s'étend sur 2,4 millions de km<sup>2</sup>. Du Nord au Sud, on trouve trois ensembles très contrastés, différents par leur relief et leur morphologie. Tout d'abord, la chaîne du Tell et le littoral, puis la chaîne de l'Atlas qui longe les Hautes Plaines plus au Sud, enfin, le désert saharien qui s'étend au-delà du massif de l'Atlas. C'est cette disposition du relief qui, avec les conditions climatiques, détermine le potentiel agricole et les ressources en eau du pays. La majeure partie du pays (87%) est un désert où les précipitations sont quasi nulles, mais qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines. La partie Nord du pays est caractérisée par son climat méditerranéen ; elle dispose de ressources en eau renouvelables, tant pour les eaux de surfaces que pour les nappes phréatiques. Les 90% des eaux de surface sont situées dans la région du Tell qui couvre environ 4% du territoire. Le pays est également caractérisé par une forte disparité entre l'Est et l'Ouest. La région Ouest est bien dotée en plaines mais est peu arrosée. La partie Est du pays est une zone montagneuse où coulent les principaux fleuves. [8]

## 2. PROFIL DES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

### 2.1. Etat des potentialités en eau

Les potentialités globales en eau sont évaluées à 19.4 milliards de m<sup>3</sup>/an répartis comme suit :

- Les ressources en eau souterraine contenues dans les nappes du Nord du pays (ressources renouvelables) sont estimées à près de 2 Milliards de m<sup>3</sup>/an.
- Les ressources superficielles y sont estimées à 12 milliards de m<sup>3</sup>/an.
- Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT). Les réserves d'eau y sont très importantes et sont de l'ordre de 60 000 milliards de m<sup>3</sup> dont 40 000 milliards sont situées en Algérie. La particularité de cette ressource est qu'elle n'est pas renouvelable.

### 2.2. Les eaux mobilisables :

Les capacités totales de mobilisation sont de 12 milliards de m<sup>3</sup>/an dont : [13]

**1. Eaux superficielles :** est estimé à près de 12 410 milliards de m<sup>3</sup>/an dont 600 millions pour la partie Nord du Sahara et le volume mobilisable à 4 500 millions de m<sup>3</sup>/an. Plus des deux tiers du volume d'eau superficielle mobilisable se trouvent localisés dans 4 des 17 bassins versants (Chlef, Algérois, Soummam, Constantinois) qui occupent une surface de 75 000 km<sup>2</sup>, soit 3% de la superficie du territoire national.

**2. Eaux souterraines :** est actuellement estimé à près de 6 836 millions de m<sup>3</sup>/an dont 1 900 pour la partie Nord du pays et le volume mobilisable à 4 900 millions de m<sup>3</sup>/an dont 3 000 pour le Sahara.

Ces ressources sont principalement mobilisées par : [1]

- **Les barrages :** La capacité totale des 59 barrages des 5 bassins hydrographiques est de 6 milliards de m<sup>3</sup> en 2008 et un volume régularisable de 3 Milliards de m<sup>3</sup>. Sur la base des projets en cours, l'Algérie disposera en 2010, d'un parc de grands ouvrages de mobilisation de la ressource, composé de 72 barrages faisant passer la capacité de mobilisation à 7,40 milliards de m<sup>3</sup>.
- **L'exploitation des eaux souterraines :** atteint 1.6 milliards de m<sup>3</sup> par forages et 85 millions de m<sup>3</sup> par foggaras
- **Le dessalement de l'eau de mer :** est pratiqué dans 23 stations pour une capacité de 347 000 m<sup>3</sup>/jour dont trois grandes stations : La station du Hama à Alger : avec 200 000 m<sup>3</sup>/jour couplée avec la centrale électrique du Hama et entrée en production en 2008 ; la station d'Arzew près d'Oran : avec 90 000 m<sup>3</sup>/jour, et production d'électricité (318Megawatts) et la station de Skikda avec 100 000 m<sup>3</sup>/jour, .et production d'électricité de 800 mégawatts
- **Le recyclage des eaux usées épurées :** Le volume annuel d'eaux usées rejetées est estimé à 730 millions de m<sup>3</sup>. La capacité installée d'épuration des eaux usées est de 365 millions de m<sup>3</sup>/an correspondant à 65 stations d'épuration en exploitation.

### 3. QUELQUES STRATEGIES POUR REMEDIER AUX PROBLEMES D'EAU

Il est clair que l'Algérie enregistre d'un côté un manque énorme en ressources, au même moment où les besoins augmentent, et de l'autre côté le volume d'eau mobilisable est en diminution, et ceci est dû aux différents problèmes naturels ou humains qui touchent les sites susceptibles de capter les eaux.

#### 3.1. CONSTAT SUR LA SITUATION ACTUELLE

La situation actuelle en Algérie est exacerbée par plusieurs contraintes : [1]

- Un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles : la croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux décennies écoulées, un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole ;
- Un déséquilibre géographique entre les besoins et les ressources : la forte concentration des besoins en eau sur la bande littorale (60%) oblige à une réaffectation, par des transferts de ressources en eau assez coûteux financièrement, pour équilibrer les déficits de régions intérieures du pays, notamment toute la zone des Hauts Plateaux ;
- La pollution des nappes et des ressources superficielles : les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent de loin les capacités des systèmes d'épuration, ce qui réduit considérablement les volumes d'eau susceptibles d'être utilisés ;
- Risque de rupture d'un développement durable : en sus de la pollution, de sérieux problèmes apparaissent dans les prélèvements effectués dans les nappes souterraines qui dépassent les limites de renouvellement des ressources naturelles et nécessitent de puiser dans les réserves non renouvelables.

#### 3.2. LES PRINCIPALES STRATEGIES

La solution des problèmes soulevés devrait passer par une coopération politique, scientifique, technologique, économique et technique. Sans être exhaustif voici quelques propositions pour remédier au problème du manque d'eau en Algérie :

##### a. Renforcement des capacités, Doit se faire par : [1]

- Une exploitation raisonnée et durable, pour ne pas compromettre les générations futures,
- Une gestion intégrée, qui doit être au cœur de l'application de la politique de l'eau,
- Un développement durable, dans un cadre économique et écologique, qui doit prendre en considération :  
Les défis de l'avenir auxquels il faut faire face de la part des gestionnaires,

La gestion de l'eau doit être intégrée et doit considérer tous les facteurs influençant le circuit de distribution, depuis la source jusqu'au consommateur. de nouvelles orientations qui requièrent de nouvelles méthodes d'exploitation, de surveillance et de distribution qui doivent prendre en compte les interdépendances de tous les éléments (toutes les étapes) dans leur intégrité, les données concernant les paramètres physico-chimiques des eaux distribuées, climatiques des zones des sources d'alimentation, cartographiques, géologiques... qui seront rassemblées, intégrées et considérées.

Pour ces données, qui sont fournies par les différentes sources d'informations, il s'agit d'une partie importante du travail scientifique qui consiste à leur collecte, à leur intégration et à leur mise à jour continue.

De plus, les résultats et les données doivent être accessibles aux gestionnaires, décideurs, scientifiques et au public, afin d'être utilisé à long terme.

##### b. Perspectives de développement, Elles passent par : [1]

- La réhabilitation des ouvrages de stockage existants (barrages...), Devant l'ampleur des phénomènes de sécheresse et d'inondations qui affectent chaque année notre pays, on ne peut pas se passer de stocker de l'eau dans les quelques barrages qui existent en Algérie.
- L'utilisation des systèmes d'irrigation Économiseurs d'eau tels que :
- L'aspersion Sous toutes ses formes.
- L'irrigation localisée ou « goutte à goutte » sous toutes ses formes.
- Le gravitaire amélioré, car contrairement à certaines idées, certains systèmes gravitaires dits "classiques" peuvent être aussi performant que les systèmes sous pression dits "modernes" (aspersion et localisée)
- Des techniques reposant sur le principe du ralentissement des écoulements dans les bassins urbains et l'Algérie doit penser à leur usage pour réduire les conséquences des phénomènes pluvieux exceptionnels.
- La réalisation de nouveaux ouvrages, à un horizon proche,
- La multiplication des forages, aux emplacements bien étudiés,
- Traitement des eaux usées et le problème des Step a toujours été évoqué et le constat est, on ne peut plus amer. En effet, sur les 53 Step existantes, 42 sont à l'arrêt depuis des années et il n'existe pas d'organismes spécialisés dans la gestion de tels équipements. Ces stations dès leur réception, sont mises sous l'égide des APC (Assemblée Populaire Communale). Il faut d'abord expertiser ces installations pour en connaître les problèmes, prendre ensuite des mesures pour un bon fonctionnement de la Step, et remettre enfin en marche ce qui existe.
- Dans l'avenir, il faut réaliser les Step selon une démarche sélective. Autrement dit, pour les agglomérations comptant jusqu'à 30000 habitants, l'épuration des eaux usées se fera par système de lagunage.
- Au-delà, c'est la réalisation de la Step mais sous condition : le constructeur est appelé à gérer la station pendant une dizaine d'années. En attendant les Step, les eaux usées sont déversées dans les oueds, irriguant les vallées agricoles.
- Une solution urgente pour diminuer le nombre de rejets des eaux usées vers la mer est la création des bassins de décantation en attendant que l'hygiène du milieu, du cadre de vie, de la protection de l'environnement et de la lutte

contre les pollutions et nuisances fassent l'objet des préoccupations de nos décideurs. Ainsi, la majorité des stations de traitement des eaux usées existantes ne fonctionnent plus. Le taux moyen des pertes (physiques et commerciales) est estimé à 40%. Souvent, du fait d'un manque de ressources ou d'une mauvaise gestion, l'eau est insuffisante pour satisfaire la demande et elle doit être rationnée.

- En Algérie et selon les calculs de la Banque Mondiale, le taux de pertes moyen est de 32% réparties sur un réseau de distribution de 40,000 km. En d'autres termes il faut produire 625,000 m<sup>3</sup> pour vendre un volume de 425,000 m<sup>3</sup>. De toutes les capitales méditerranéennes, Alger passe pour posséder les réseaux de distribution les vétustes.
- La projection et l'inscription de nouvelles installations de dessalement de l'eau de mer, pour la production d'eau, est une solution pleine d'espoir pour l'avenir, au regard de la grave pénurie d'eau qui menace l'Algérie. Si elle est techniquement possible, cette opération est financièrement coûteuse. Les procédés d'osmose, et plus récemment de nono- filtration, sont venus concurrencer progressivement les procédés plus anciens tels que : distillation, électrodialyse, échange d'ions, décarbonatation, pour des raisons essentiellement économiques et de facilité de mise en oeuvre (automatisme simple, dépense énergétique faible...).
- Vu l'importance des installations, et sachant que les pressions osmotiques deviennent importants dès que l'on atteint des salinités de quelques grammes par litre, les problèmes de compacité et d'énergie sont prépondérants, ce qui place le prix du mètre cube d'eau à un prix excessivement cher. Une autre solution prometteuse utilisant l'énergie solaire. Cette solution, envisagée depuis longtemps par les autorités algériennes, n'a vu le jour que l'année 2006 par l'achèvement d'un contrat de réalisation d'une station de dessalement de l'eau de mer regroupant la SONATRACH, la SONELGAZ et une Société de l'Afrique du Sud pour approvisionner la zone industrielle d'Arzew de 40,000 m<sup>3</sup>/j.

## Conclusion

Depuis une dizaine d'années, des efforts considérables ont été déployés en Algérie pour satisfaire au mieux les besoins en eau des populations et assurer ceux du développement économique. Il fallait d'abord effacer les retards et les dysfonctionnements générés au cours de la période difficile des années 1990. Il fallait aussi anticiper les demandes croissantes liées à la démographie et à l'urbanisation, et veiller à une plus juste répartition des potentialités hydrauliques entre les régions et entre les secteurs. Le principal objectif des responsables du secteur a donc été de mobiliser le maximum de ressources en eau renouvelables et, si nécessaire, d'avoir recours à d'autres ressources non conventionnelles. Ceci s'est traduit par des programmes très importants de barrages, de forages, d'infrastructures de transferts d'eau considérables vers les régions déficitaires, et de construction d'unités de dessalement de grandes capacités. Cependant, pour que ces réformes ne restent pas simplement formelles mais puissent apporter des transformations radicales dans les niveaux de qualité et d'efficacité des services de l'eau, l'association et la concertation des parties prenantes, en particulier des usagers et consommateurs, est essentielle. La loi sur l'eau en fait une recommandation principale. Sa mise en œuvre effective est la condition du succès. [06]

## Références

- [1] Pnoud, (2009) « Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie ».
- [2] LADJAL Rabah (2013) Problématique de la mobilisation et de la préservation des ressources hydriques dans le Sersou (Bassin Cheliff amont Boughzoul). Thèse de Magister, Univ de Tlemcen.
- [3] Ait- Ameer .C (2004) « Modernisation et Gestion de l'eau dans les périmètres irrigués algériens : Cas de la Mitidja Est Hamiz » Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée Rabat, du 19 au 23 avril 2004.
- [4] Baghli N & Megnounif A & Bouanani A « Introduction de la modélisation systemique dans la gestion des ressources en eau » Département d'hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur. Université de Tlemcen, Algérie.
- [5] Benyahia. M., Kefouf. A, Abdelhakk. K & Moueddene. K (2009) « Enjeux, stratégies et perspectives de la gestion des ressources en eau en Oranie (ALGERIE NOROCCIDENTALE) », séminaire national à sidi belabbes.
- [6] Bouanani. A(2000) Hydrologie, transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW - Algérie). Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. de Tlemcen.
- [7] Benblidia.M, le Thivet.G (2010) Gestion des ressources en eau les limites d'une politique de l'offre, Les notes d'analyse de CIHEAM ,N° 58.
- [8] Boudjadja. A, M. Messahel et H. Pauc (2003) « Ressources hydriques en Algérie du Nord » Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 16, n° 3, p. 285-304.
- [9] Bouziani-Boubou.N, S. Maliki (2009) « Innovations technologiques et gestion de l'eau en Algérie : la maîtrise de la demande », revue MECAS, Université de Tlemcen.
- [10] Brahim MOUHOUCHE « Les problèmes du manque d'eau et l'agriculture algérienne » Laboratoire de Maitrise de l'Eau en Agriculture ENSA ex [NA, El-Harrach, 16200 Alger.
- [11] Kerdoun, A. (1998) « Education et sensibilisation en vue d'une protection de l'eau en Algérie », Congrès international de KASLIK, Liban.
- [12] Kadi, A. (1997), « La gestion de l'eau en Algérie », In Hydrological Sciences - Journal des Sciences hydrologiques, 42(2), Limoges, France.
- [13] Kettab, A. (2001), « Les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision », In Elsevier Science Desalination, 136(2001) 25-33, Alger, Algérie.
- [14] Remini. B (2010) « La problématique de l'eau en Algérie du Nord », Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, pp. 27-46.
- [15] Nadji Khoua (2005) « L'eau comme révélateur de la crise multiforme en Algérie : aspects économiques et impacts sociaux » Colloque international IRD, Agadir 12 – 16 Décembre 2005.
- [16] M. Ennabli, Etude hydrogéologique des aquifères Nord Est de la Tunisie par une gestion intégrée des ressources en eau, Thèse de doctorat d'état, Université Nice 1980.

## L'amélioration des conditions hydrauliques dans les Grands Périmètres d'irrigation (G.P.I.) du Nord Est Algérien

Farès NINI

l'Université S Boubnider de Constantine et Laboratoire LASTERNE, Algérie.  
fares.nini@yahoo.fr

### Résumé

*La présente contribution concerne les améliorations des réseaux et leurs résultats concernant la répartition des superficies irriguées, modulation des volumes d'eau de la période (2006 – 2013) à l'échelle des grands périmètres irrigués de la région de Constantine. Après avoir défini la politique adoptée dans la gestion de l'eau de 2005, on procède à l'application des indices mesurants à la fois l'efficacité physique des réseaux de transport et l'efficacité de distribution. Les améliorations de l'efficacité des réseaux à 77 % des volumes distribués ont donné des résultats encourageants, totalisant 53,972 hm<sup>3</sup> volumes distribués qui permet d'irriguer 13500 ha, avec un volume facturé de 52,269 Hm<sup>3</sup> par l'organisme de gestion (amélioration de la situation financière de l'O.N.I.D). Mais, le champ des pertes est considérable (23%), il reste certainement beaucoup à faire pour une gestion efficace de la demande.*

**Mots clés:** périmètres irrigués, efficacité des réseaux, progrès encourageants, Nord EST Algérie.

## Improvement of the hydraulic conditions in the Large Perimeters of Irrigation (G.P.I.) of North-East Algeria

### Abstract

*This article concerns to network improvements and results concerning the distribution of irrigated areas, modulation of water volumes during the period (2006 - 2013) on the scale of large irrigated areas of the Constantine region. After defining the policy adopted in the 2005 water management, we apply the indices that measure both the physical efficiency of the transportation networks and the distribution efficiency. The efficiency of the networks at 77% of the distributed volumes yielded encouraging results. A total of 53,972 hm<sup>3</sup> volumes were distributed, allowing 13500 ha, with an invoice of 52,269 Hm<sup>3</sup> issued by the management organization (ONID). But, the field of losses is considerable (23%), it is still very much the case for the effective management of the demand.*

**Key Words:** irrigated perimeters, efficiency of networks, encouraging progress, North East Algeria

## Introduction

La gestion intégrée des ressources et demandes en eau a été retenue comme le premier domaine d'action prioritaire de la Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable adoptée en 2005 par l'ensemble des pays riverains et la Communauté européenne. Dans cette stratégie « cadre » commune, l'un des objectifs principaux relatifs à la gestion de l'eau est le renforcement des politiques de Gestion de la Demande en Eau (GDE), qui comprend l'ensemble des mesures visant à accroître les efficacités techniques, sociale, économique, institutionnelle et environnementale, dans les différents usages de l'eau.

Au cours de cette décennie de nombreux projet d'équipements et de réhabilitation des grands périmètres d'irrigations ont été réalisés grâce à la dynamique hydraulique et à la nouvelle politique de gestion par demande de l'eau agricole : réforme juridique et institutionnelle dans le secteur de l'eau visant à réduire la déperdition et augmentation de l'Efficacités globale des réseaux. Ceci est lié à une réflexion sur la défaillance et les difficultés qu'avait connues le secteur hydro agricole dans les années 1990.

Notre présent travail s'intéresse aux objectifs d'amélioration des conditions hydrauliques dans des grands périmètres irrigués (G.P.I) situés dans le Nord-Est algérien : Bounamoussa, Safsaf, Guelma-Boucheouf, Zit Emba, Jijel, Sedrata et Ksar Sbihi.

Pour suivre régulièrement les progrès réalisés dans les périmètres irrigués et la situation en matière de gestion de l'eau agricole, on fait appel aux indices d'efficacités des réseaux d'adduction et distribution. Cette méthode est adoptée dans le plan national de l'eau (Plan National de l'Eau P.N.E, Volet irrigation, évaluation de la demande en eau, rapport méthodologique, 1997).

Ces indices permettent d'évaluer les efforts réalisés en termes d'économie d'eau par la gestion de la demande en diminuant les pertes et les gaspillages.

### 1. Dispositif réglementaire et technique

#### 1.1. Brève présentation du secteur de l'eau agricole en Algérie

Au cours de ces deux dernières décennies, moins de 40 000 ha (à peine 10% de la surface irriguée) ont été irrigués dans les grands périmètres, parfois avec un volume d'eau très faible, dit « dose de survie ». Les volumes distribués annuellement n'ont pas dépassé 200 millions de m<sup>3</sup> depuis 1984. Alors que les besoins des surfaces actuellement irriguées (100 000 ha) sont de l'ordre de 500 Hm<sup>3</sup> pour une dose de 5000 m<sup>3</sup>/ha, seuls 40% des besoins sont satisfaits. L'efficacités des systèmes était de l'ordre de 50%. Il faudrait pouvoir mobiliser plus de 700 millions de m<sup>3</sup> pour une efficacités moyenne du système de 70%.

En plus, la sécheresse qui a sévi au cours de la dernière décennie explique partiellement le déficit des ressources en eau et la limitation des superficies irriguées dans l'ensemble du pays. D'autres facteurs externes au secteur hydro agricole aggravent la situation d'après le rapport du Plan National de l'Eau (P.N.E, 2005).

Le manque de planification des ressources en eau, les conflits avec les autres usages, l'approvisionnement en eau potable et industriels au détriment de l'eau agricole rendent la situation des périmètres irrigués difficile.

Des facteurs internes aux systèmes contribuent aussi à aggraver ce phénomène : dégradation des infrastructures par manque d'entretien, pertes d'eau dans le réseau et gaspillage de l'eau à cause du bas prix de cette dernière.

#### 1.2. Stratégie de réponse aux problèmes identifiés

Dès les années 2005, l'Algérie a adopté une nouvelle politique nationale de l'eau portant sur deux axes stratégiques majeurs : les réformes institutionnelles, et le développement de l'infrastructure hydraulique dans le cadre des programmes nationaux d'investissement. Elle prend en compte les mutations nées aussi bien dans l'évolution des enjeux socio-économiques que dans la perception du coût réel de l'eau.

L'obligation d'une utilisation et d'une gestion économe des ressources en eau et la mise en œuvre de tous moyens appropriés pour lutter contre les pertes et les gaspillages sont désormais nettement affirmés dans la Loi sur l'eau de 2005, et en tout cas bien plus précisément que dans les législations précédentes. S'y ajoutent les mesures de maîtrise de la demande dans la gestion de l'eau (article 3).

La gestion de l'eau d'irrigation a été confiée à l'O.N.I.D (créé conformément au décret 05-183 du 18 mai 2005 portant réaménagement du statut de l'A.G.I.D), entreprise publique qui doit reprendre la gestion directe des services d'eau de tous les grands périmètres d'irrigation G.P.I du pays.

Des dépenses financières importantes ont été consacrées à l'exécution de divers programmes et projets de rénovation et renforcement des capacités des installations hydrauliques pour mieux gérer l'eau agricole. En conséquence, de 1995 à 2004, la plus grande partie des dépenses a été consacrée aux infrastructures de mobilisation de l'eau, principalement les barrages (CNES, novembre 2008).

## **2. Données, objectifs et méthodologie d'étude**

### **2.1. Cadre d'étude et données**

La région de Constantine compte sept 07 périmètres irrigués qui totalisent une superficie équipée de 40533 ha, dont 34165 ha irrigables. Les périmètres en exploitation disposent de données relativement fiables et suffisantes pour établir une analyse à l'échelle régionale concernant la répartition des superficies irriguées, la modulation des volumes d'eau de lâchés ( $\text{Hm}^3$ ), mise en tête de réseau, volume distribué ( $\text{Hm}^3$ ), Volume facturé ( $\text{Hm}^3$ ), assolements réalisés au cours de la période (2006 – 2013). La gestion des périmètres irrigués est confiée à la Direction Régionale du Constantine (D.R.C) de l'Office Nationale d'Irrigation et Drainage (O.N.I.D).

Entre 2006 et 2013, le volume moyen annuel alloué aux périmètres est de l'ordre de  $96.542 \text{ Hm}^3$ , les trois quarts de ce volume étant partagés entre les trois principaux périmètres : Guelma-Boucheouf ( $37.8 \text{ Hm}^3$ ), Bounamoussa ( $31.8 \text{ Hm}^3$ ) et Safsaf ( $12.9 \text{ Hm}^3$ ). En année moyenne, les Volumes prélevés (régularisée en tête de réseau) ont atteint  $65.063 \text{ Hm}^3$  sur les  $75.800 \text{ hm}^3$  des lâchés des barrages. Finalement, Le volume moyen distribué au profit des grands périmètres irrigués est  $53.972 \text{ Hm}^3$ .

Avant 2005, entre (1991 -2002), le volume moyen distribué est  $32,6 \text{ Hm}^3$  sur une demande en eau  $163 \text{ Hm}^3$  seuls 20% de la demande sont satisfaits (Plan National de l'Eau, Volet n° 12, demande en eau, 2005).

### **2.2. Action menées pour l'amélioration l'efficience des réseaux**

Des actions et des projets d'améliorations des réseaux ont été mis en œuvre au profit des grands périmètres irrigués du Nord Est Algérien à travers des programmes d'investissement suivants :

Des programmes similaires de réparation, de réhabilitation et de rénovation des systèmes et installations d'adduction et de distribution d'eau aux irrigants sont conduits dans le cadre du programme d'investissement publique (P.I.P) Initié par le ministre des ressources en eau (MRE). Soit un montant de 42,783 millions de Dinars Algériens est consacré à la réhabilitation et la maintenance des Grands Périmètres, dont 76% affectés aux réseaux d'irrigation, 21,5% aux stations de pompes, et 2,5% aux réseaux d'assainissement (plan d'action 2011).

Aussi, des entretiens réguliers sont effectués par l'office national de l'irrigation et drainage. Des dépenses de maintenance et d'entretien des périmètres sont passées de 200 Dinar algérien par hectare en 2006 à près de 1 000 Dinar algérien par hectare en 2012.

## **3. Les méthodes et résultats d'estimation de l'efficience globale des réseaux (Eg)**

On différencier deux niveaux de réseaux, de l'amont à l'aval : les réseaux d'adduction et les réseaux de distribution, Selon les cas, ces réseaux peuvent être des conduites ou des canaux auto portés. Lors du transport et de distribution de l'eau.

Cette démarche s'appuie d'une part, sur l'évaluation du niveau de l'efficience des réseaux de transport ( $E_a$ ) et d'autre part, sur l'efficience de distribution ( $E_d$ ). On note que l'efficience d'adduction ( $E_a$ ) est celle qui correspond aux pertes entre le barrage et l'amont du périmètre irrigué. L'efficience de distribution ( $E_d$ ) est celle qui correspond aux pertes dans les réseaux du périmètre d'irrigation, dans les diverse sections des conduites et canaux de divers ordre.

L'efficience globale des réseaux de transport et de distribution durant la période (2006-2013), permet au finale, de suivre les efforts réalisés en termes d'économie d'eau par la gestion de la demande en diminuant les pertes et les gaspillages lors du transport et distribution.

### **3.1. Efficience d'adduction ( $E_a$ )**

Les valeurs de l'efficience d'adduction varient dans une fourchette de 83 à 100 % (soit des pertes de 0 à 17%). Les valeurs les plus fortes correspondent à des périmètres ou la distance entre le barrage et le tete du périmètre est courtes, ou le transport de l'eau s'y fait dans des conduites en bon état n'engendrant que des pertes négligeable. Nous trouvons cette situation dans le cas des périmètres suivant : (Zit-Emba Skikda et El-Agrem à Jijel).

Par contre des efficacités faibles (pertes fortes) sont constatées dans divers périmètres, par exemple : dans le périmètre du Guelma Boucheouf, la valeur de l'efficience d'adduction  $E_d$ , 83%, est grandement imputable au fait que le barrage effectue des lâchers dans l'Oued, lesquels sont repris plus à l'aval par des stations de pompes qui desservent le périmètre.



On notera cependant que ces pertes d'adduction, parfois importantes, ne sont pas totalement perdues ni inutiles : une partie est récupérée pour des installations d'irrigation sommaires le long des Oueds et canaux, et une partie de l'écoulement reste, en tout état de cause, nécessaire pour le maintien d'un minimum d'équilibre environnemental le long de l'axe hydraulique.

### 3.2. Efficience de distribution (Ed)

Le rendement à l'échelle de la distribution des périmètres étudiés est 84% en moyenne, avec des variations d'un périmètre à un autre, allant de 58% (K'Sar Sbihi) jusqu'à 91% (Safsaf). Les pertes dans les réseaux se situent à moins de 20% dans la majorité ; ces pertes sont liées à un ensemble de contraintes techniques et de gestion concernant essentiellement les anciens périmètres.

### 3.3. Efficience globale (adduction et distribution) Eg

Ces actions ont ramené l'efficience globale (Eg) à 77 % en moyenne, avec des variations d'un périmètre à un autre, allant de 54 % (K'sar-Sbihi) jusqu'à 92 % (Zit –Emba Skikda et El-Agrem Jijel).

Les pertes dans les réseaux (parcours et distribution) se situent à moins de 23 % dans la majorité des grands périmètres irrigués.

### 4. Les objectifs atteints en termes d'économie de l'eau par la gestion de la demande (GDE)

Les mesures et les actions adoptées pour atteindre ces objectifs peuvent être appréciées à travers : 1) la progression de la superficie irriguée de la région de Constantine (2006 – 2013) de 7623 Ha en 2006 à 13 500 ha en 2013 soit un taux d'évolution de 40% en relation avec les volumes d'eau distribués de 53,972 Hm<sup>3</sup> en 2013 ; 2) L'Amélioration de la situation financière de l'O.N.I.D due à l'augmentation de l'eau facturée (52,269 Hm<sup>3</sup>) et de recouvrement de 53% de ces créances.

### 5. Conclusion

Les Grands Périmètres Irrigués (G.P.I.) de la région constantinoise du Nord Est algérien enregistrent une évolution croissante des terres irriguées (13 500 ha) pour l'année 2013 ha ce qui représente 40 % de la superficie irrigable (34 000 ha). Ceci est lié aux volumes d'eau produits (lâchés, mis en tête de réseau, distribués). Confirmant par là-même la concrétisation de plusieurs projets de rénovation des réseaux et l'efficacité des plans d'action en matière d'amélioration de l'efficience de de circuit de l'eau du barrage à la parcelle irriguée. Mais ces améliorations sont encore lentes et beaucoup reste à faire pour une gestion efficace de la demande.

### Références

- [1] F. Nini, Ressources en eau et perspectives de développement hydro-agricole ; cas de la wilaya de Constantine, journal International Network Environmental Management Conflicts, Santa Catrina – Brazil, (1), Dez 2010. <http://www.igetecon.org/revista>
- [2] K. Bhouiri, B. Douh, A. Mguidiche, A. Boujeben, synthèse des principaux indicateurs de performance des systèmes irrigués, la rhys journal, issn 1112-3680, n°24, décembre 2015, pp.263-279.
- [3] K.Louhichi, L'amélioration de l
- [4] 'efficience de l'irrigation pour une économie d'eau, cas d'un périmètre irrigué en Tunisie, rapport final du plan d'action pour la méditerranée, (1999) CIHEAM-IAMM.
- [5] M.Benblidia, stratégie méditerranéenne pour le développement durable, Efficience d'utilisation de l'eau, Rapport de synthèse Préparé par « Plan Bleu Centre d'Activités Régionales », Sophia Antipolis Mai 2009.
- [6] Plan national de l'eau 1997, volet irrigation « rapport méthodologique, évaluation de la demande en eau », communautés européennes convention 163 AL, direction des grands infrastructures hydraulique (MRE).
- [7] M.Messahel, M.S. Benhafid, C. Ouled Hocine, N Lamaddalena, F. Lebdi, l'efficience des systèmes irrigation en Algérie, CIHEAM option méditerranéennes: Séries B, études ET recherché, (2003) n° 52 pages 61-78.
- [8] I. Guemraoui M, Chabaca M N, 2005, Gestion des grands périmètres d'irrigation : l'expérience algérienne, acte de séminaire Euro méditerranéens, 21 et 22 novembre 2005, Sousse, Tunisie.
- [9] F. Nini, 2014, l'amélioration hydrauliques des grands périmètres irrigués (G.P.I) du Nord-Est algérien, 3ème colloque international, ressources en eau & changement climatique Eau et Climat' 2014, regard croisé Nord-Sud, 21 et 23 Octobre 2014, Hammamet Tunisie.
- [10] Loi n° 05.12 du 28 Jumada Ethani 1426 correspondant au 04 Aout 2005 relative à l'eau. Journal officiel de la république algérienne N°60.



## **La gestion déléguée des services publics de l'eau et de l'assainissement en Algérie: Aspects légaux pour une expérience réussie**

AHMANE Kheira

*Maître assistante à la faculté de droit et de sciences politiques,  
université Oran2, Algérie.*

### **Résumé**

*Les services publics de l'eau et de l'assainissement connaissent ces derniers temps des enjeux diversifiés : des problèmes croissants affectant la quantité et la qualité des ressources en eau ; des problèmes de gestion clientèle (des branchements illicites, des fuites commerciaux). En revanche, parmi les objectifs du millénaire pour le développement fixé l'an 2000, on trouve l'objectif des Etats de réduire à moitié, la population n'ayant pas un accès à l'eau potable et un système d'assainissement de base. Ces enjeux ont poussé l'Etat algérien à déléguer la gestion des services au secteur privé pour y faire face, dans quatre villes algériennes après l'avoir admis sur le plan juridique.*

**Mots clés :** Partenariat public-privé ; Contrat de management ; Services publics de l'eau ; régulation.

### **Abstract**

*Water and sanitation utilities know lately diversified issues: the increasing problems affecting the quantity and quality of water resources; the problem of managing customer. In contrast, among the objectives of the millennium for development, there is the goal of reducing the half of population has no access to safe drinking water and basic sanitation system. This defies pushed the Algerian State to conclude the management contract with the private sector in four Algerian cities after admitted it legally.*

**Key words:** Public-private partnership; management contract; services public water; regulation.

## Introduction

A l'instar des autres pays du monde, la gestion des services publics de l'eau et de l'assainissement est principalement publique. Ces services sont des services publics en réseau et constituent des monopoles naturels locaux par excellence. A cet effet, le risque d'opportunisme est imposant en cas de la délégation de gestion au privé (c'est-à-dire gestion déléguée ou Partenariat public-privé P.P.P.). En revanche, les problèmes de l'eau ne cessent de s'aggraver, une demande croissante face à une offre en diminution à cause de la démographie galopante. Des objectifs du millénaire pour le développement visant à réduire à moitié la population n'ayant pas une source d'eau et un système d'assainissement de base. Ces enjeux ont poussé les autorités publiques à recourir au secteur privé pour y faire face. Cette option qui est la gestion privée, a connu un bilan mitigé dans les pays du monde. Ainsi, on constate des échecs dans certains pays surtout en Amérique Latine et une remise en cause de la gestion déléguée en France illustrée par la remunicipalisation des services de l'eau et les retours à la gestion publique.

## Le contexte général du recours à la gestion déléguée

En Algérie, la gestion publique est prédominante, cela est dû aux caractéristiques des services publics de l'eau de l'assainissement. La gestion déléguée au secteur privé n'est que l'exception. Elle est due aux multiples enjeux actuels. Malgré les fondements théoriques qui sont en faveur de la gestion publique. Cette dernière n'a pas pu faire face aux enjeux actuels. Les problèmes de l'eau ne cessent de s'aggraver, des objectifs du millénaire pour le développement en attente d'être atteints. Cependant, malgré les investissements publics farmineux, la gestion publique n'a pas pu faire face à ces enjeux. A cet effet, les autorités publiques algériennes se sont trouvées contraintes de recourir au secteur privé dans les principales villes algériennes importantes en termes de PIB et de densité démographique. Il s'agit de la gestion déléguée aux multinationales connues par leurs longues expériences datant de plus d'un siècle dans plusieurs pays. Malgré les efforts et les investissements publics dans le secteur de l'eau. La gestion publique n'a pas pu faire face aux enjeux actuels. Avec le réchauffement climatique, on constate une offre en diminution face à une demande en augmentation du fait de la croissance démographique galopante. On assiste à un manque de savoir-faire managérial et technique du personnel chargé de la gestion de l'eau à savoir : Un faible taux de facturation et des fuites commerciales de 35% ; des fuites de l'eau estimée à 40% ; engasement des barrages ; détérioration des infrastructures ; obsolescence technique et des coupures d'eau fréquentes, allant de 1 jour sur deux voire 1 sur 7 ; 90% des eaux usées déversées dans le milieu aquatique sans traitement, etc. En revanche, les objectifs du millénaire pour le développement (OMD), visant à réduire de moitié de la phase 2000 à 2015, le pourcentage de la population n'ayant pas accès de façon durable à un approvisionnement en eau potable et un système d'assainissement de base. L'Etat se retrouve obligé de recourir à l'expertise privée pour atteindre ces OMD.

## Les contrats de gestion déléguée en Algérie

Sur le plan juridique, l'État a admis le recours au secteur privé par le biais de convention de délégation de service public ou bien la gestion déléguée. Ces conventions peuvent être conclues par l'État ou par le concessionnaire (l'ADE ou l'ONA) agissant comme autorité délégante et une personne morale de droit privé présentant des qualifications professionnelles. Cette convention portant sur la délégation de la gestion des services publics de l'eau ou de l'assainissement peut avoir plusieurs formes en fonction des besoins de l'autorité délégante. Si cette dernière n'a pas les moyens financiers nécessaires pour la construction ou la réhabilitation des ouvrages, la forme entreprise est bien le partenariat (qualifiée en France par concession de service public ou affermage selon l'existence des ouvrages). Si le problème réside seulement dans le manque du savoir-faire. La formule contractuelle choisie serait bien le contrat de management. Ce dernier est le moins risqué par l'opérateur privé.

En Algérie, ce n'est pas les sources de financement qui manquent mais c'est bien le manque du savoir-faire managérial et technique. A cet effet, la formule contractuelle choisie dans la pratique, est le contrat de management. Le premier contrat de gestion déléguée (management) conclu était en 2004, avec la multinationale Suez Environnement. Cette dernière a conclu un contrat de management avec l'ADE et l'ONA. Puis ces deux EPIC ont été fusionnés ont créé la société d'eau et d'assainissement d'Alger SEAAL dont les actionnaires à parité sont l'ADE et l'ONA. La multinationale Suez est le gestionnaire de cette société pour une période de 5 ans et demi.

Ultérieurement, trois appels d'offre étaient lancés en 2006, pour la conclusion des contrats similaires pour les villes d'Oran, Constantine et Annaba/Taref. Ces contrats étaient conclus sous l'assistance technique de la Banque Mondiale, pour une période de 5 ans et demi. Ces contrats sont des contrats de performance qui visent à transmettre le savoir-faire technique et managérial des sociétés privées. Ces dernières perçoivent une rémunération fixe et une rémunération variable comprenant des primes (bonus) et des pénalités (malus) en cas d'atteinte ou non atteintes aux objectifs conformément aux indicateurs de performances prescrits par le contrat. Il s'agit des indicateurs suivants : Indicateur de performance globale représentant les efforts, technique (amélioration du rendement, recherche de fuites), commerciaux (recherches des usagers illégaux, meilleure lecture des compteurs, augmentation de la desserte, renouvellement des

compteurs), de collecte de l'opérateur, et en matière de réduction de compte client ; l'indicateur de performance lié à la continuité du service de l'AEP ou H24 ; l'indicateur lié à la qualité de l'effluent à l'exhaure de station d'épuration ; Indicateur lié aux travaux d'hydro curage préventif et enfin, l'indicateur de continuité des stations de relevage . Pour un contrat de gestion déléguée réussi, les pouvoirs publics devront mettre en place des mécanismes de régulation et de contrôle efficace, ainsi que de créer un environnement favorable pour l'investissement privé. Ce que nous allons aborder dans la section suivante

### Les clés de réussite de la gestion déléguée :

On a vu plus haut que la gestion des services de l'eau et de l'assainissement devrait être théoriquement publique. La gestion privée n'est qu'une exception due pour faire face à certains problèmes rencontrés dans les grandes villes et mégapoles. En revanche, plusieurs contrats conclus dans les pays en développement ont connu l'échec. Même en France, on assiste à une remunicipalisation des services publics de l'eau à Paris en 2010. Donc, la gestion déléguée est une option risquée et à la fois nécessaire et pour faire réussir cette option il faudrait munir le contrat de gestion déléguée d'un dispositif rigoureux de régulation pour contrôler d'éventuels comportements opportunistes de l'opérateur privé marqués par des augmentations tarifaires et de basses de qualité.

On constate deux types de régulation pratiquée dans le monde pour contrôler des éventuels comportements opportunistes de l'opérateur privé : une régulation institutionnelle exercée par une autorité de régulation indépendante. C'est le cas de l'OFWAT en Angleterre, et une régulation contractuelle exercée par le contrat. C'est le cas en France dans les contrats de délégation de service public. L'Algérie a opté pour une régulation hybride, institutionnelle et contractuelle. Pour maintenir le contrôle de l'intervention privée. Une autorité de régulation des services publics de l'eau a été mise en place, en vertu du décret exécutif 08-303 du 27 septembre 2008. Cette autorité veille au bon fonctionnement des services publics en tenant compte les intérêts des usagers. Cependant, cette autorité de régulation n'est pas dotée de vrais pouvoirs, elle n'a qu'un pouvoir de formulation d'avis qui ne s'imposent pas. Ainsi, elle a des pouvoirs en ce qui concerne l'établissement du contrat, en contribuant à l'établissement des cahiers des charges et en formulant des avis sur les opérations de partenariat. En ce qui concerne le fonctionnement du contrat, elle veille sur le bon fonctionnement du service public dans l'intérêt de l'utilisateur et le respect des lois, du respect du concessionnaire de ses obligations en évaluant les indicateurs de qualité et d'analyser les charges dans le cadre du contrôle des coûts. Enfin, de formuler des recommandations suivant les réclamations des usagers. Tous ces pouvoirs n'ont qu'une valeur de recommandation ou d'avis qui ne s'impose pas vis-à-vis l'opérateur privé.

Cette autorité de régulation vise essentiellement à protéger l'intérêt général de l'utilisateur et au bon fonctionnement du service public de l'eau. Il faut aussi, munir le contrat de mécanismes de régulation et de contrôle

Pour une mise en concurrence efficace entre les candidats potentiels, la passation des contrats de gestion déléguée doit se baser sur les principes de la commande publique connus mondialement, à savoir, le principe de l'égalité de traitement des candidats ; le principe de liberté d'accès et le principe de transparence des procédures de sélection. A cet effet, le législateur algérien prévoit l'appel à la concurrence comme le seul mode de passation des conventions de délégation de services publics de l'eau. La loi relative à l'eau prévoit que cette appel doit préciser la consistance et les conditions des prestations mises à la charge du délégataire, d'une façon précise et transparente ; Le Ministère des Ressources en Eau a aussi demandé l'assistance technique de la Banque Mondiale pour s'assurer de la qualité des documents contractuels, vu la technicité et la complexité de passation des contrats de gestion déléguée. Et dans la phase d'exécution du contrat, la fixation des prix et sur la performance du délégataire privé.

Pour la régulation des prix, on assiste à plusieurs mécanismes liés au système tarifaire existant dans le monde. Les principaux sont le mécanisme *price cap* (prix plafond) et le mécanisme *cost plus* (coût marginal). Ainsi, la régulation de prix peut être établie par un prix plafond (*price cap*) pour une durée déterminée (généralement 5 ans) prescrit dans le contrat ou fixé par l'autorité de régulation indépendante (le cas de la Grande Bretagne) ; il s'agit d'un seuil au-dessus duquel le délégataire ne peut augmenter le tarif. Le régime le plus répandu mondialement est le régime *cost plus* basé sur la couverture juste des coûts, où on détermine le tarif en prenant en compte toutes les charges. Ainsi le délégant évalue les coûts de l'exploitation et le coût du capital investi. Dans ce type de régulation, on trouve moins de risque assumé par le délégataire dans la mesure où la couverture des charges est assurée, le temps d'un ajustement tarifaire ou bien, un remboursement par l'autorité délégante. En Algérie, on s'approche du régime *cost plus* et c'est l'Etat qui fixe les tarifs des services publics de l'eau en vertu du décret exécutif 05-13 du 05 janvier 2005. Le trésor public verse à l'exploitant des subventions d'équilibre. Un autre système de régulation de qualité existe, il s'agit des mécanismes contractuels de contrôle et d'incitation aux objectifs de performance. Les contrats de DSP entrepris en Algérie font l'exemple. Ainsi, des indicateurs de performances sont fixés dans le contrat. L'opérateur devrait atteindre les objectifs de performance, sous peine des pénalités définies contractuellement. En revanche, des primes seraient allouées à l'opérateur ayant atteint ces indicateurs. Il s'agit des indicateurs de la performance globale représentant des efforts, techniques et commerciaux ; l'indicateur de

performance lié à la continuité du service de l'AEP ou le H24 ; L'indicateur lié à la qualité de l'effluent à l'exhaure de station d'épuration, Indicateur lié aux travaux d'hydro curage préventif.

## Conclusion

L'Algérie a opté pour une gestion principalement publique, cependant, elle a conclu quatre contrats de gestion déléguée pour quatre villes algériennes. Cette expérience est si récente en Algérie. A cet effet, le législateur algérien a maintenu la convention de délégation de service public par un dispositif rigoureux de régulation et de contrôle. Il a mis en place une autorité de régulation indépendante. Ceci dit sur le plan juridique. Sur le plan pratique, les autorités publiques ont choisi la formule contractuelle la moins risquée pour l'opérateur privé qui est le contrat de management, dans la mesure où l'autorité déléguante assume la grande partie du risque.

Dans la pratique, ce dispositif consolidé de régulation a porté ses fruits. On voit dans ces villes algériennes un service public continu, de meilleure qualité, des réponses vites aux réclamations des clients et un taux de satisfaction clientèles en augmentation, selon les dernières enquêtes de satisfaction. Des bureaux d'audit sont en train d'évaluer le bilan final de ces expériences qui sont manifestement réussies.

## Bibliographie

- [1] Breuil, Lise « Renouveler le partenariat public-privé pour les services d'eau dans les pays en développement : comment conjuguer les dimensions contractuelles, institutionnelles et participatives de la gouvernance ? », Thèse de Doctorat, École Nationale de Génie Rural, des Eaux et des Forêts, centre de Paris, France, 22 novembre 2004, <http://www.agroparistech.fr/labogea/TheseLB.pdf>
- [2] Conseil d'État Français, « L'eau et son droit », rapport public 2010, mai 2010, éd. La Documentation Française.
- [3] David Hall, « water in public hands, public sector water management\_a necessary option », Washington, 19 Mars 2002. [http://info.worldbank.org/etools/dcs/voddocs/96/190/public\\_hands.pdf](http://info.worldbank.org/etools/dcs/voddocs/96/190/public_hands.pdf)
- [4] DU MARAIS, Bertrand, « Droit public de la régulation économique »éd. Presse de Sciences PO et Dalloz, France, 2004,
- [5] GARCIA, Serge « Analyse économique du coût de l'eau potable » Thèse de Doctorat en sciences économiques, Université de Toulouse, 13 juillet 2001, [www.nancy.inra.fr/var/lefi/storage/.../2001-Garcia-Serge-These.pdf](http://www.nancy.inra.fr/var/lefi/storage/.../2001-Garcia-Serge-These.pdf)
- [6] Jahn, Jean Marc et Terra Messaoud : « Le contrat de management d'Alger : la construction d'un partenariat public / privé exemplaire pour l'atteinte d'objectifs ambitieux ».
- [7] KHELLADI, Maya Secteur de l'eau en Algérie : Le programme d'assistance technique remboursé, in. Nawafid El Maghrib n°3 , septembre 2006. <http://siteresources.worldbank.org/INTMOROCCOINFRENCH/Resources/NawafidMaghrebSeptembre06.pdf>
- [8] KHELLADI, Mehdi A.M., « L'eau en Algérie sera-t-elle gérée par des firmes étrangères ? [igetecon.org/revista/index.php/inicio/article/download/32/pdf](http://igetecon.org/revista/index.php/inicio/article/download/32/pdf)
- [9] LE LANNIER, Aude : « Enforcement des Contrats de Régulation Incitative : Régulation Individuelle versus Comparative », octobre 2008.
- [10] LEMAITRE, Arnaud, « Pouvoir des marchés et régulation des services publics : une application au secteur de l'eau et de l'assainissement », Laboratoire CARE (Centre d'Analyse et de Recherche en Economie), Université de Rouen, Avril 2003.
- [11] MARTY, Frédérique et VOISIN, Arnaud, « Les partenariats public-privé dans les pays en développement : « Déterminants, risques et difficultés d'exécution » acte de la 2ème journée du développement du GRES, « Quel financement pour le développement ? », [http://hp.gredeg.cnrs.fr/marty/marty\\_voisin\\_ppp%26pvd.pdf](http://hp.gredeg.cnrs.fr/marty/marty_voisin_ppp%26pvd.pdf).

## **Contribution à la gestion intégrée des ressources en eau dans le sous bassin versant amont de l'oued Bouselam, Nord-est Algérie**

Zouhir boulgueraguer<sup>1,2</sup>, Hicham chaffai<sup>1</sup>, Adelmalek lakkaichi<sup>2</sup>, Saadane djorfi<sup>3</sup>, et Sofia bahroune<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Ressource en Eau et Développement Durable, Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000-Annaba, Algérie,

E-Mail: boulgueraguer@yahoo.fr E-Mail: chaffai.h@yahoo.fr

<sup>2</sup> Département d'Agronomie, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Ferhat Abbès Sétif 1, Algérie, , E-Mail: lak\_geologue@yahoo.fr

<sup>3</sup> Laboratoire Ressources naturelles aménagement, Département d'Aménagement, Faculté des Sciences de la Terre, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000-Annaba, Algérie, E-Mail : djorfi2001@yahoo.fr

<sup>4</sup> Département d'Ecologie Végétale et Environnement, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Ferhat Abbès Sétif 1, Algérie, , E-Mail : sofia\_bah@yahoo.fr

### **Résumé**

*La gestion intégrée des ressources en eau est un processus qui favorise le développement coordonné de l'eau ainsi que du territoire et des ressources associées afin de maximiser d'une manière équitable le bien-être économique et social sans compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux. Ceci veut dire qu'une politique de développement ne peut réussir sans la prise en compte des ressources en eau. Cette approche n'est pas facile à mettre en œuvre car elle implique des changements fondamentaux pour les usagers actuels des ressources en eau qui tendent comme tout le monde à s'opposer à un changement quelconque de leurs habitudes ceci rend absolument nécessaire la prise de conscience par chacun de la réalité des besoins et du caractère inévitable des changements à opérer. Avec un apport annuel total de 764 Hm<sup>3</sup>/an le sous bassin versant amont de l'oued Bouselam représente un potentiel hydrique important à préserver, car après l'évapotranspiration il ne reste que 190 Hm<sup>3</sup>/an, 80% de cette quantité représente les eaux mobilisables, alors que les eaux mobilisées réellement ne représentent que 60 Hm<sup>3</sup>/an et elles sont destinés vers l'alimentation des habitants en eaux potable avec un taux près de 70% et 18 % pour l'agriculture et les 12% restant vont partir à l'industrie.*

**Mots clés :** sous bassin versant, oued Bouselam, gestion intégrée, Sétif

## **Sustainable development contribution of water resources of Bouselam under watershed, North-est Algeria**

### **Abstract**

*Sustainable development of water resources is a process that promotes the coordinated development of water and land and associated resources in order to equitably maximize economic well-being and social without compromising the sustainability of vital ecosystems. This means that a development policy can't succeed without the consideration of water resources. This approach is not easy to implement because it implies fundamental changes for the current users of the water resources, This approach is not easy to implement because it implies fundamental changes for the current users of the water resources, which they tend, like everyone else, to oppose any change in their habits. This makes it absolutely necessary for everyone to become aware of the reality of the needs and the inevitability of the changes to be made. With a total annual contribution of 764 Hm<sup>3</sup> / year the under watershed of Bouselam valley represents an important hydric potential to preserve, because after the evapotranspiration there remains only 190 Hm<sup>3</sup> / year, 80% of this quantity represents the waters mobilized, while the water mobilized actually only represent 60 Hm<sup>3</sup> / year and they are intended for the food of the inhabitants in drinking water with a rate close to 70% and 18% for agriculture and the remaining 12% will go to industry.*

**Key Words:** under watershed, Bouselam valley, sustainable development, Sétif

## Introduction

Le sous bassin versant amont de Bousselam qui fait l'objet de l'étude, dispose de 35 % de la surface du grand Bousselam, son code 15 06 d'après l'Agence des Bassins Hydrographiques, avec une longueur de 65 Km, l'oued Bousselam s'étend sur les hauts plateaux sétifiens avec une superficie de 1785 Km<sup>2</sup>.

Avec un apport annuel de 764 Hm<sup>3</sup>/an le sous bassin versant amont de l'oued Bousselam représente un potentiel hydrique important à préserver car après évapotranspiration il ne reste que 190 Hm<sup>3</sup>/an 80% de cette quantité représente les eaux mobilisables réellement alors que les eaux mobilisées ne représente que 60 Hm<sup>3</sup>/an et elles sont destinées vers l'alimentation des habitants en eaux potable avec un taux près de 70% et 18 % pour l'agriculture et les 12% restant vont à l'industrie.

## 1. Description du sous bassin versant de Bousselam amont

### 1.1. Situation géographique

L'oued Bousselam est le principal affluent du Soummam avec une longueur de 150 Km et une surface de 5010 Km<sup>2</sup> leur bassin est subdivisé en quatre sous bassin (le Bousselam amont (C/ 15 06, S/ 1785 Km<sup>2</sup>) celui de Bousselam moyen (C/ 15 07, S/1234 Km<sup>2</sup>) et El Main (C/ 15 08, S/930 Km<sup>2</sup>) et le Bousselam aval (C/ 15 09, S/1061 Km<sup>2</sup>).

C : Code du sous bassin selon l'ABH, S : Surface du sous bassin.

Le sous bassin du Bousselam amont qui fait l'objet de cette étude contient 35 % de la surface du grand Bousselam (1785 Km<sup>2</sup>) de code 15 06 d'après l'Agence des Bassins Hydrographiques et une longueur de 65 Km, il situe entre le grand bassin Constantinois à l'Est celui de Hodna au Sud et le sous bassin de Bousselam moyen à l'Ouest et il est limité au Nord par Dj.Medjounes, Dj Aissel, Dj Megriss, et Dj Matrona, à l'Est par Kef Boudjemline, Dj. Merouane, Dj.Youssef, et Dj.Sekrine et au Sud par Dj. Hassane, Dj.Sattor, et Kef Della.

Le sous bassin du Bousselam amont s'étend sur les hauts plateaux sétifiennes avec une superficie de 1785 Km<sup>2</sup> et inscrit dans le territoire de la wilaya de Sétif elle située au Nord-est de l'Algérie.

### 1.2. Paramètres morphométriques

L'altitude moyenne du sous bassin de Bousselam est de l'ordre de 1000 m, cette valeur traduit un relief moyen assez fort ou le diagramme des fréquences altimétriques fait ressortir la répartition par tranche d'altitude de la superficie du bassin ainsi nous pouvons aisément constater les diverses altitudes caractéristiques du bassin.

Le secteur d'altitude dépassant les 1600 m est très peu étendu dans le bassin (0.57 %) et correspond à la montagne situé au Nord du bassin djebel Megriss (1737) m.

Les zones d'altitudes comprises entre et 1200 et 1600 m couvrent 151.32 km<sup>2</sup> soit environ 8.47 % de la superficie totale et correspondent aux fronts Sud des monts de Megriss, Medjounes, Matrona, Tarmount, Mnaouer, et Aissel.

Les zones d'altitudes allant de 1000 à 1200 m couvrent une superficie de 557.15 km<sup>2</sup> soit 31.21 % de la superficie totale et concernent les hautes plaines sétifiennes au Nord et au Sud.

Enfin, la tranche d'altitudes entre 800 et 1000 m s'étale sur une superficie de 1066.28 km<sup>2</sup> soit 59.73 % concerne les vastes plaines sétifiennes jusqu'à le barrage Ain Zada.

L'analyse morphométrique nous permet d'évaluer un certain nombre de paramètres très importants qui doivent être étroitement liés à la nature lithologique du terrain et la topographie du bassin.

## 2. Le potentiel hydrique dans le sous bassin versant de l'oued Bousselam amont

### 2.1. Le potentiel hydrique superficiel

#### 2.1.1. Oueds

La plaine de Bousselam est traversé par un seul oued qui est le oued Bousselam, et ses principaux affluents oued Malah (Ain arnat) et oued Malah (Ksar Al Abtal) oued Fermatou oued Guellal oued Tixter et oued Ftaiasa, ces ressources naturelles assurent un apport annuel approximatif extrapolé de l'ordre de 50 Hm<sup>3</sup>/an qui reste très peu exploité vu le volume total mobilisé par les différents ouvrages hydrauliques installés dans le bassin.

### **2.1.2. Barrages et retenues collinaires**

En 1986, est mis en service le barrage d'Ain Zada sur l'oued Boussemam, dont il fait un exutoire du sous bassin destiné initialement à l'irrigation mais rapidement détourné au profit des villes de Sétif et celles de Dougaa et El Eulma et Bordj Bou Arreridj avec une capacité de 125 Mm<sup>3</sup> en plus il existe plus 6 retenues collinaires (DHW Sétif 2011) destinées essentiellement à l'irrigation des moyens et des petits périmètres agricoles et l'abreuvement du cheptel.

## **2.2. Le potentiel hydrique souterrain**

### **2.2.1. Forages et puits**

La majorité du potentiel hydrique souterrain du bassin est exploité par pompage à partir d'une série de forages implantée dans les alluvions de la plaine du Boussemam.

D'après le bilan actuel (2013) de la DHW de Sétif et Bordj Bou Arreridj on a dénombré plus de 80 forages productifs répartis à travers le bassin.

Ces forages en service mobilisent annuellement plus 40 Hm<sup>3</sup> ils sont destinés essentiellement à l'alimentation en eau potable et une petite partie vers l'alimentation de l'industrie (1.6 Hm<sup>3</sup>).

### **2.2.2. Sources et captages**

Plus de 5 sources et 8 captages recensés par la DHW et l'ADE de Sétif (2013) assurent un volume de 4 Hm<sup>3</sup> avec des débits qui varient entre 8 l/s jusqu'au 116 l/s.

## **3. La mobilisation des ressources en eau dans le sous bassin amont de Boussemam**

Le sous bassin de Boussemam contient un potentiel hydrique très important et estimé à environ 190 Hm<sup>3</sup>/an dont une grande quantité de ce volume est une eau de surface (75% des eaux totales reconnues) assurées par le barrage d'Ain Zada dans la wilaya de B.B.Arreridj avec un volume annuel moyen de 115 Hm<sup>3</sup>/an.

Les eaux totales mobilisées au niveau du bassin sont d'environ 58.1 Hm<sup>3</sup>/an soit 35% des eaux mobilisables globales (164.5 Hm<sup>3</sup>/an) ainsi que les eaux souterraines représentent 51% des eaux totales mobilisées et 18% des eaux totales mobilisables.

En vue de visualiser la répartition des ressources en eau à travers le sous bassin on a choisi de diviser ce dernier selon les limites administratives des deux wilayas concernées la wilaya de Sétif et celle de B.B. Arreridj pour mieux reconnaître le taux de participation et de contribution de chaque wilaya au bilan global soit à l'offre ou la demande.

Le potentiel hydrique est inégalement réparti dont le volume le plus important (146.7 Hm<sup>3</sup>) se trouve dans la wilaya de B.B. Arreridj avec un taux de 76 % et la wilaya de Sétif totalise un volume de 44.9 Hm<sup>3</sup> soit 24 % du potentiel hydrique du bassin considéré. En matière de mobilisation le volume total mobilisé est de l'ordre de 58.1 Hm<sup>3</sup>/an en 2013 soit 35 % de la ressource totale mobilisable dont le volume exploité le plus important (46.1 Hm<sup>3</sup>/an) est concentré à la wilaya de Sétif avec un taux de 80 % en raison de la concentration démographique dans le chef lieu de Sétif et ses communes et l'intensité des activités industrielles et agricoles.

La wilaya de Bordj Bou Arreridj avec ses besoins domestiques et agricoles exploite près de 20 % des ressources mobilisées soit un volume de 12 Hm<sup>3</sup>/an malgré son grand potentiel elle ne représente que 23 % de la surface et 14.51 % de la population du bassin ce qui représente l'inégalité de répartition des ressources entre les deux wilayas.

### **3.1. L'affectation des ressources en eau dans le bassin de Boussemam**

La plupart des eaux mobilisées dans le bassin de Boussemam destinées à l'alimentation en eau potable et à la satisfaction des besoins domestiques avec un volume de 40.7 Hm<sup>3</sup>/an soit 70.3%.

Les besoins en eau pour l'irrigation est environ de 10.8 Hm<sup>3</sup>/an ce qui représente 18.4% alors que les besoins en eau pour l'industrie ne représentent que 11.3% c'est l'équivalent d'un volume de 6.6 Hm<sup>3</sup>/an.

## **4. Gestion intégrée**

Les demandes en eau potable sont de l'ordre de 40.7 Millions m<sup>3</sup>/an à l'amont du sous bassin et ce qui concerne le niveau de service et le taux de raccordement varie de 60% pour les petites villes et les villages à 80% jusqu'à 95% pour les villes un peu développées et plus de 95% pour les villes développées soit un taux de raccordement moyen de 83% pour l'ensemble du bassin d'un linéaire total plus de 600 000 km il est aussi à signaler que les réseaux d'adduction et de distribution d'eau potable continuent de poser des problèmes au niveau de leur entretien avec des pertes importantes d'eau. En matière d'approvisionnement en eau potable les dotations en eau présentées par habitant dans le sous bassin de Boussemam sont globalement bien inférieures à la moyenne nationale 150 l/j/hab elles sont en moyenne de l'ordre de 120 l/j/hab en 2007 et



142 l/j/hab en 2013 mais elles sont très inégales suivant les régions où dans le centre et l'Ouest du sous bassin les dotations dépassent les 130 l/j/hab. La consommation en eau potable vont donc augmenter à 44.6 millions de m<sup>3</sup> en 2015, à 54.9 million m<sup>3</sup> en 2025, et 67.5 million m<sup>3</sup> en 2035, cependant, le volume réellement produit pour couvrir ces besoins en eau domestiques est de l'ordre de 46.1 millions de m<sup>3</sup> par an, soit un taux de satisfaction de près de 90 %. La consommation actuelle en eau d'irrigation dans le sous bassin de Boussemal sont de l'ordre de 18.4 millions de m<sup>3</sup> par an et vont évoluer pour atteindre 50 millions de m<sup>3</sup> à l'horizon 2035. Le tissu industriel dans le sous bassin versant de Boussemal est concentré surtout dans sa partie centrale où se trouvent le grand consommateur d'eau industrielle dont les besoins des zones industrielles sont de plus 6.6 millions de m<sup>3</sup> par an et le reste est divisé sur les autres petites unités industrielles à caractère agro-alimentaire. Le capital en eau naturelle renouvelable dans le bassin est de 190 millions de m<sup>3</sup> par an cependant un volume maximal de 164.5 millions de m<sup>3</sup> par an .

## Conclusion

Le bilan de la gestion des ressources en eau dans le sous bassin de Boussemal est globalement négatif où le secteur de l'eau potable en milieu rural n'a pas connu un développement aussi important que celui en milieu urbain et l'agriculture souffre également des problèmes de manque d'eau dont une grande partie reste encore non opérationnelle. En plus les responsables de la gestion de l'eau plaçant la disponibilité de l'eau pour les besoins d'alimentation en première priorité n'avaient pas donné suffisamment d'importance à la préservation des écosystèmes dans leurs actions de développement des ressources en eau. En revanche la stratégie de gestion des ressources en eau basée essentiellement sur la gestion de l'offre ne peut pas à elle seule assurer la satisfaction des besoins des différents usagers de l'eau dans le bassin à moyen et long terme d'une manière durable. Dans cette optique seule une nouvelle stratégie consiste à intégrer la gestion de l'eau dans la politique économique et environnementale susceptible de prévenir les impacts négatifs éventuels. Cette gestion intégrée des ressources en eau devrait être appréhendée en terme de maîtrise des instruments de régulation (tarification et financement) d'amélioration de la gouvernance de l'économie de l'eau et de réduction des pertes en eau dans les réseaux de distribution et de développement de la recherche scientifique dans le domaine de la maîtrise des ressources en eau et entreprendre des vastes programmes d'informations et de sensibilisation des citoyens.

## Références

- [1] BOUDOUKHA A., et All, (2003-2005)- étude des paramètres naturels (évaporation et débits solide) et artificiels (pollution urbain et artificielle) influents sur la qualité des eaux de surface du grand constantinois, Univ-Batna, 16 p.
- [2] YOUSFI I, (2013)-Contribution à l'étude de la pollution chimique : cas du barrage d'Ain Zada, Bordj Bou Arreridj, Univ-Sétif, 60 p.
- [3] ZOUAOU L., - Réhabilitation de l'Oued boussemal, Univ-Sétif, 7p.
- [4] ADDALA A et MAHAMMADI S, (2013)- Evaluation de la qualité physicochimique des eaux des forages de cinq mosquées dans la ville de Sétif, Univ-Sétif, 50p.
- [5] ATHAMENA M., (2006)-Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone Sud Sétifien, Univ-Batna, 130p.
- [6] BOUGUERNE A, (2001), Etude comparative par analyse hydrologique et hydrochimique des eaux de surface des bassins versant d'Oued Boussemal, Oued Rhumel, Univ-Batna, 184p.
- [7] MEBARKIA A,(2011),-Etude des caractéristiques physicochimique des eaux de surface, cas du barrage de Ain Zada, W.Bordj Bou Arreridj, Univ-Annaba, 189p.
- [8] MEBARKI A., (2005)-Hydrologie des bassins de l'Est Algérie : ressources en eau, Aménagement et Environnement, Univ-Nice-Sophia Antipolis, 360p.
- [9] KHALFAOUI F., (2008)-Ressources en eau et gestion intégrée dans le bassin versant du saf-saf (Nord -Est algérien), Univ-Annaba, 127p.
- [10] Bilan mensuel et annuel de la production et la distribution des eaux (2004-2013), format Xls ADE Sétif.
- [11] Bilan Annuel de la production et la distribution des eaux(2013), format Xls DHW Bordj Bou Arreridj.



## Evaluation de la qualité microbiologique des ressources en eaux dans une zone montagneuse rurale, la Haute vallée de Tifnout (haut Atlas marocain).

Lamyaa Kacem<sup>1</sup>, Mbark Agoussine <sup>2</sup>, Brahim Igmoullan<sup>1</sup>, Soraya Mokhtari <sup>3</sup>,  
and Hicham Amar <sup>4</sup>

<sup>1</sup>Geosciences and Environment Laboratory, Department of Earth Science, Faculty of Science and Technical, Cadi Ayad University, Avenue Abdelkrim Khattabi, BP594, 40000 Marrakech, Morocco.

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, National School of Applied Science, Ibnou Zohr University, B.P. 1136 Agadir, Morocco.

<sup>3</sup>Department of Toubkal National Park, Regional Direction of Water and Forest and Fight against Desertification / High Atlas, Ex-Villa Jeanette, City Boukar, Bab Doukkala Marrakech, Morocco.

<sup>4</sup>Laboratory of Data Processing, Applied Mathematics, Artificial Intelligence, Faculty of Sciences, and Recognition of Seismic Waves and Structure of the Earth, Rabat, Morocco.

### Résumé

La haute vallée de Tifnout est une zone montagneuse rurale marocaine où l'eau des sources constitue une ressource importante pour l'alimentation en eau potable. Malheureusement, la mauvaise gestion des ressources en eaux et l'absence d'un réseau d'assainissement peuvent affecter la qualité de l'eau des sources. Dans cet environnement rural, la population génère des eaux usées rejetées directement sans aucun traitement. Quelques échantillons d'eau de la haute vallée de Tifnout ont été prélevés en mars 2012, novembre 2013 et mai 2015. Nous avons analysé les paramètres physiques et microbiologiques de toutes les eaux collectées. La qualité de l'eau physico-chimique est bonne pour toutes les sources de la haute vallée de Tifnout avec une faible minéralisation. Nous avons compté les germes fécaux pathogènes comme les coliformes fécaux et totaux, les streptocoques fécaux, *Escherichia coli* et *staphylococcus*. Les résultats microbiologiques montrent une contamination d'origine fécale dans certaines sources d'eau, l'eau doit être désinfectée avant la consommation humaine.

**Mots clés :** Eau potable, qualité microbiologique, eaux de sources, paramètres physiques

### Microbiological evaluation of drinking water quality in rural mountainous area, High valley of Tifnout (high Moroccan Atlas)

#### Abstract

The high valley of Tifnout is a rural Moroccan mountainous area where the springs water constitutes an important source of drinking water. Unfortunately the poor sanitation and the absence of a correct sewerage can affect the springs water quality. In this rural environment, the population generates waste water which is rejected directly without any treatment.

Some springs water samples of the high valley of Tifnout were taken in March 2012, November 2013 and May 2015. We analyzed the physical and microbiological parameters of all waters collected. The physico-chemical water quality is good for all springs in the high valley of Tifnout with low mineralization. We counted the pathogenic fecal germs such fecal and total coliforms, fecal streptococci, *Escherichia coli* and *staphylococcus*. The microbiological results show that the springs water contaminated with the human or animal feces, so the water must be disinfected before human consumption.

**Key Words:** drinking water, fecal contamination, coliforms, springs water, physical parameters

## Introduction

A safe drinking water is important to human health; the consumption of water without a treatment may cause a lot of problems to health. Contamination of water bodies is a serious problem being faced by water stressed area [1]. Anthropogenic activities such as urban, industrial, and agricultural as well as natural processes, such as precipitation inputs, erosion water quality and determine its use for various purposes [2,3,4]. Isolation and enumeration of organisms such as *E. coli* indicates the presence of fecal contamination in water should be undertaken only for purposes of investigating and controlling outbreaks of disease [5]. The factors leading are often ascribed to faecal pollution from on-site sanitation, such as pit latrines, or presence of faeces in the environment, which interact with surface flows obviously represent sources of faecal contamination [6]. Water is said to be safe for drinking when it is free of pathogens, poisonous substances and excessive amount of mineral and organic matter [7]. Access to quality drinking water is a powerful determinant of health to about half of the population of the developing world exposed to polluted sources of water that increase disease incidence [8,9]. In mountainous rural area of developing countries such Morocco, the springs water constitute the important source of drinking water. The water quantity is very important in high valley of Tifnoute, but the quality can be not good for consumption. In high valley of Tifnoute the springs water are used for human consumption without any treatment. The bacteriological results of this study show that the springs water are highly contaminated and the bacteria colonies exceeding standards. However, in this area no studies have been carried for drinking water quality. This work is the first one in this region and is aims to identify the microbiological drinking water quality.

## I. Materials and methods

### I.1. Study area

The high valley of Tifnoute is located in the southern flank of the Toubkal Mountain in Moroccan Atlas. The study area lies on 30°59' and 31°5' N latitudes and 7°56' and 7°48' W longitudes. The high valley of Tifnoute catchment is a mountainous rural area, characterized by a high elevation and greater slopes [10, 11]. Geologically, the volcanic and metamorphic rocks are dominated in the high valley of Tifnoute. Surface and springs water constitutes important water resources in this area, the springs water used for population consumption and irrigation. The Ifni lake is a natural tower of water how fell naturally the springs of high valley of Tifnoute, this water used for human consumption.

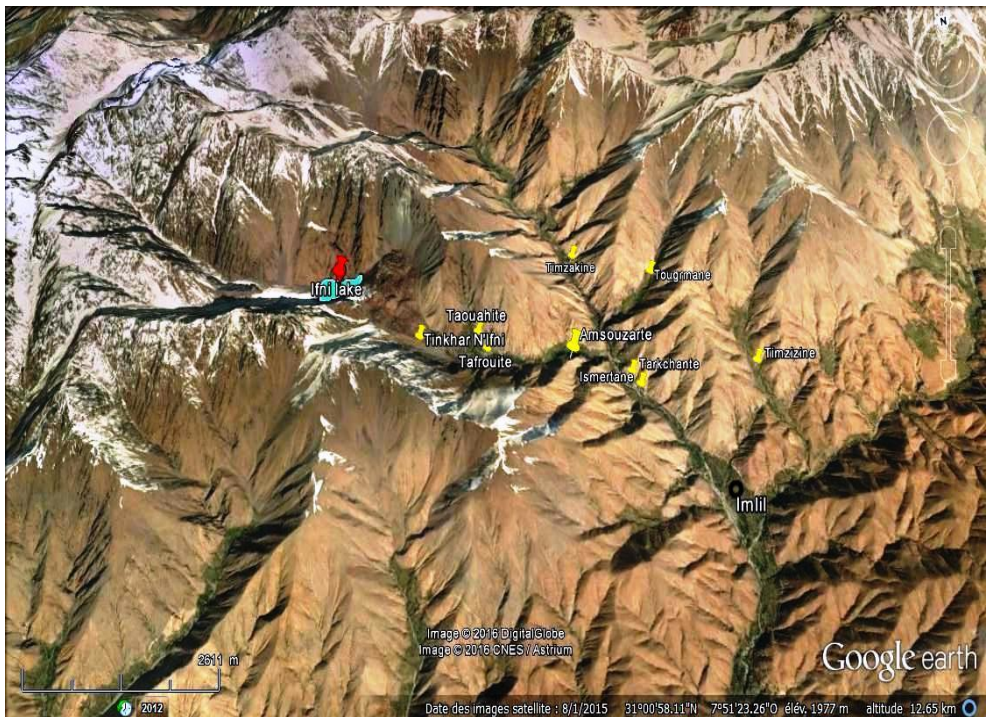


Figure. I Study area and water samples

### 1.2. Drinking water sampling and analysis

During March 2012, November 2013 and May 2015 some springs water samples were collected in sterile glass bottles for bacteriological analysis. For each springs 500 ml of water were taken and persevered at 4 °C. The water samples localization is presented in the (Figure 1).

Conductivity, pH and temperature were measured in situ using multi-parameter meter Hanna Model HI 99300. For bacteriological analysis we determined total coliforms (TC), fecal coliforms (FC), fecal streptococci (FS), Escherichia coli (E.coli), Staphylococcus (SA) at 37 °C and 44 °C with membrane filtration method. The culture media used were as follows described by [12].

## II. Results and discussions

The physical parameters results obtained of this study are presented in (Table 1). Temperature is an important factor to be measured for springs water, for this study this factor ranged from 14 to 29 °C. Water temperature was lowest and cold. The pH aims to measure the concentration of H<sup>+</sup> ions in water, and it reflects the balance between acid and based on a scale of 0 to 14 with a neutral pH of 7 value [13,14] (Ghazali et Zaid 2013, Abdoulaye et al.2013 , Kwamivi 2012). The pH value in the present study ranged from 6.36 to 8.1. The pH values of springs water is acceptable when we compared it to Moroccan standard. The electrical conductivity gives an idea of the degree of mineralization and the ionic concentration dissolved in water. The springs water conductivity values present a homogeneous spatial variation and ranged from 101 to 298 (µs/cm), the values do not exceed the 2700 (µs/cm) Moroccan standards. The water mineralization is very low because the basin lithology constituted by volcanic and metamorphic rocks, so the water-rocks interaction is very low.

Table 1. Physical characteristics of springs water

Springs	pH	Temperature (°C)	Conductivity (µs/cm)
Tinkhar N'Ifni	7,42	14	118
Ait Taouahite	7,15	17,1	138
Tifrouine	7,75	19,5	136
Tarkchante	6,36	15,1	233
Tougramane	7,96	22	204
Ismertane	7,55	18	298
Amsouzzarte	7,75	22	101
Timzakine	8,06	29	128
Timzizine	8,1	15,6	290

The people in the high valley of Tifnoute used spring water for drinking and irrigation. The results of analyzed ions in spring's waters showed this water is low mineralized and excellent for irrigation [10]. The microbiological results show that in all water samples are contaminated with fecal coliforms, total coliforms and fecal streptococci.

Moreover, contamination with Staphylococcus was not observed in any water samples, but the presence of Escherichia coli in some springs (figure.2) represents an indicator of fecal contamination. Microbial rates of water samples in springs were variated in period, so maximum average of coliforms number was detected in May 2015. Even so in some cases of springs water it was observed the high number of coliforms, it may cause the risk contamination for human health.

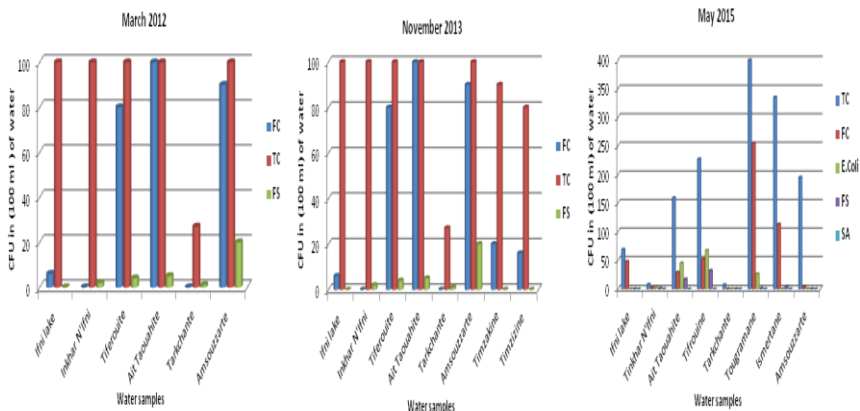


Figure 2 : Pollution by coliforms of driking water from different water springs

## Conclusion :

The results of our study showed that chemical composition of drinking spring water is good for human consumption. Some springs water present of exceeded microbiological contamination by coliforms, enterococci and E.coli. To protect the health of vulnerable populations, we recommend protecting springs water and treating water before using.

## Références

- [1] N. Srivastava, G. Harit, R. Srivastava, A study of physico-chemical characteristics of lakes around Jaipur, India
- [2] Journal of environmental biology, 30 (2009), 889-8942
- [3] H.P. Jarvie, B.A. Whitton, C. Neal, Nitrogen and phosphorus in east coast British rivers: speciation, sources and biological significance, Science of the total environment. Vol 210-211(1998), 79-109.
- [4] A. R. Karbassi, S. M. Monavari, G. R. Nabi Bidhendi, J. Nouri, and K. Nematpour, "Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River," Environmental Monitoring and Assessment, vol. 147, no. 1-3 (2008) pp. 107-116.
- [5] S.A. Bhat, G. Meraj, Y. Sayar, A. Pandit, Statistical assessment of water quality parameters for pollution source identification in sukhag stream: An inflow stream of Lake Wular (Ramsar Site), Kashmir Himalaya. Journal of Ecosystem Article ID 898054, 18 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/898054> (2014).
- [6] C. Abhishek, G. Pankaj, J. Ajit,V.Tanu, Microbiological evaluation of drinking water sold by roadside vendors of Delhi, India, Appl Water Sci. DOI 10.1007/s13201-015-0315-x (2015).
- [7] M. Golden, M.M.W. Elijah, Microbial and geochemical quality of shallow well water in high-density areas in Mzuzu City in Malawi. Physics and Chemistry of the Earth., 66(2013), 173-180.
- [8] A. Sabo, O.C.Eyaife, Physicochemical and bacteriological quality of ground water at Abubakar Tatar Ali polytechnic bauchi, Nigeria. European Scientific Journal., 10(2014), 466-478.
- [9] WHO: Guidelines for Ranking Water Quality. Vol. I Recommendations. Geneva (1997).
- [10] B. M. Tiimub, R. A. Kuffour, G. A. Akwatia, Quality determination of groundwater for drinking at Nkawkaw in the eastern region of Ghana. Civil and Environmental Research 2: (2012), 49-62.
- [11] L. Kacem, M. Agoussine, B. Igmoullan, S. Mokhtari, H. Amar, Feature Interaction of Lake Water and Springs and Evaluation of Hydrochemical Water Composition of the Highest Natural Mountain Lake of Morocco: Ifni Lake (High Atlas Mountains, Morocco - North of Africa).Water Resources –Springer .Vol 43 (2016), 395-401
- [12] L. Kacem, B.Igmoullan, S. Mokhtari, H. Amar, M. Agoussine, Morphometric characterization of upstream mountainous watershed using geographic information system GIS :high valley of Tifnoute High Moroccan Atlas, Journal of biodiversity and environmental sciences 5(2014),. 62-66.
- [13] L. Latrach, T. Masunaga, N. Ouazzani, A. Hejjaj, M. Mahi, L. Mandi, Removal of bacterial indicators and pathogens from domestic wastewater by the multi-soil-layering (MSL) system, Soil Science and Plant Nutrition, DOI: 10.1080/00380768.2014.974480(2014).
- [14] D. Ghazali, A. Zaid, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama Jerri (region de Méknes Maroc), Larhyss journal .12(2013),.25-36.
- [15] D.N. Abdoulaye, M.M. Khadijettou, A.O.Kankou Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal .Larhyss journal, 12(2013),. 71-83.

## Diagnostic et actions menées sur les eaux des retenues de barrages au Maroc pour lutter contre le phénomène d'eutrophisation

Mohammed MACHKOR <sup>1,2</sup>, Lahcen MESSAOUDI <sup>2</sup>

*1* Office National de l'Électricité et de l'Eau potable –Branche Eau, B.P 1217 TAZA, Maroc  
+212661532493, machkor.mohammed@gmail.com

*2* Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Département de Chimie, Equipe, Matériaux, Membranes et Procédés de Séparation, B.P. 11201, Zitoune, Meknès, Maroc +212618057662 amnaylah@yahoo.fr,

### Résumé

*Au Maroc, pays à climat semi aride, plusieurs facteurs ont joué pour recourir aux eaux superficielles afin de satisfaire les besoins croissants en eau potable.*

*Actuellement, au Maroc, 65% de l'eau potable est produite à partir des ressources superficielles principalement les retenues de barrages. Ces dernières connaissent souvent le phénomène d'eutrophisation qui engendre des eaux eutrophes de qualité et qui pose des problèmes aux producteurs de l'eau potable et ce suite à un accroissement excessif en substances nutritives essentiellement l'azote et le phosphore.*

*En période estivale, l'établissement de la stratification thermique, dans les lacs réservoirs, empêche le mélange des eaux de surface avec celles du fond ce qui crée une zonation dans le plan d'eau en le divisant en 3 couches : épilimnion, métalimnion et hypolimnion.*

*L'Office National de l'Électricité et de l'Eau potable, 1<sup>er</sup> producteur de l'eau potable au Maroc, a mené un programme de diagnostic et d'actions visant à lutter contre le phénomène d'eutrophisation et par conséquent, à améliorer la qualité des eaux superficielles et à économiser le coût relatif à la consommation des réactifs utilisés dans les stations de traitement des eaux.*

**Mots clés :** Eutrophisation, retenues de barrage, eaux superficielles, qualité.

## Diagnosis and actions carried out on the waters of dams's retainers in Morocco to prevent against the phenomenon of eutrophication

### Abstract

*In Morocco, a country with a semi-arid climate, several factors have contributed to the use of surface water in order to meet the growing needs of drinking water.*

*Currently, in Morocco, 65% of the drinking water is produced from the superficial resources mainly the dam's retainers. Dam's water are often aware of the phenomenon of eutrophication, which produces high-quality eutrophic waters and which poses problems for drinking water producers, following an excessive increase in nutrients mainly nitrogen and Phosphorus.*

*During the summer months, the establishment of thermal stratification in Reservoir lakes prevents the mixing of surface water with those of the bottom, which creates a zone in the body of water by dividing it into three layers: epilimnion, Metalimnion and Hypolimnion.*

*The National Office for electricity and drinking water, the first producer of drinking water in Morocco, has carried out a programme of diagnosis and actions to combat the phenomenon of eutrophication and therefore to improve the quality of surface water And to save the cost of consuming the reagents used in water treatment plants.*

**Key Words:** eutrophication, dams's retainers, surface water, quality.



## Introduction

L'Organisation de Coopération et de Développement Économique OCDE définit l'eutrophisation comme l'enrichissement des eaux en matières nutritives qui entraîne une série de changements symptomatiques tels que l'accroissement de la production d'algues et de macrophytes, la dégradation de la qualité de l'eau et autres changements symptomatiques considérés comme indésirables et néfastes aux divers usages de l'eau» [1].L'eutrophisation des lacs et réservoirs est l'un des principaux problèmes de pollution des eaux à travers le monde. Les eaux eutrophes sont souvent impropres à de nombreux usages. Ce phénomène peut avoir des effets nuisibles sur la stabilité biologique de l'écosystème lacustre : presque toutes les populations vivantes et leurs interactions en seront affectées. L'eutrophisation des lacs et des réservoirs peut donc avoir des conséquences écologiques, sanitaires, sociales et économiques négatives sur l'utilisation par l'homme d'une ressource naturelle primordiale et limitée qui est l'eau. A noter que :

- la pollution et l'eutrophisation d'un lac sont deux états à ne pas confondre.
- La qualité des eaux est d'autant plus détériorée que la retenue est thermiquement stratifiée.

Au cours de cet article, nous aborderons une synthèse de plusieurs études pour élaborer l'état de diagnostic des retenues de barrage ainsi que les expériences marocaines menées en matière de lutte contre le phénomène d'eutrophisation.

## 1. Diagnostic de la qualité des retenues de barrages marocains

Étant donné que la notion d'eutrophie est souvent rattachée à celle des teneurs en fertilisants (N et P) qui sont d'origine agricole ou domestique, la réaction du milieu à un accroissement excessif en ces éléments, se manifeste par un développement considérable de la biomasse algale dont découlent tous les problèmes rencontrés par l'exploitant. Les retenues de barrages marocaines ne sont pas exclues de ce phénomène qui menace leurs eaux en qualité et en quantité.

## 2. Critères d'évaluation du degré de trophie des lacs et des réservoirs

Dans l'étude d'eutrophisation, l'évaluation des résultats des différentes analyses hydrologiques, physico-chimiques et biologiques effectuées servent principalement à l'obtention d'un degré de trophie donné à la qualité d'eau correspondante. Le degré de trophie permet alors de classer les lacs en oligotrophes, mésotrophes ou eutrophes. Ces termes purement descriptifs sont définis en fonction de « seuils » attribués à différents paramètres de la qualité de l'eau.

Le Programme Coopératif International de Surveillance des Eaux douces de l'OCDE a fixé des valeurs limites pour la teneur totale en phosphore et en chlorophylle et pour les mesures de transparence au disque de Secchi ; ces seuils permettent de déterminer l'état trophique des lacs. Le tableau 1 présente les valeurs du système fixe de classification de l'état trophique établi par l'OCDE.

Degré de trophie	Phosphore total (ug/l)	Chlorophylle moy (ug/l)	Chlorophylle max (ug/l)	transparence au disque de Secchi moy (m)	transparence au disque de Secchi max (m)
Ultraoligotrophe	< 4	< 1	< 2,5	>12	> 6
Oligotrophe	4-10	1-2,5	2,5- 8	6-12	3-6
Mésotrophe	10-35	2,5 - 8	8-25	3-6	1,5-3
Eutrophe	35-100	8- 25	25-75	1,5-3	0,7 -1,5
Hyper eutrophe	>100	> 25	> 75	< 1,5	< 0,7

Tableau 1 : Seuils du système de classification établi par l'OCDE [2]

## 3. Conséquences de l'eutrophisation sur le traitement des eaux

L'eutrophisation des eaux influe négativement sur l'ensemble de la chaîne de traitement et rend ce dernier complexe et coûteux : Préchloration ; coagulation-floculation ; filtration ; élimination des goûts et des odeurs.

- L'augmentation de la matière organique endogène entraîne la libération du manganèse et du fer ce qui augmente la demande en chlore (risque de formation de Tri Halo Méthanes (THM)). En effet, une forte teneur en matière organique, exige pour en dégrader une grande partie, d'appliquer un taux du chlore aussi important ce qui donne naissance proportionnellement aux sous produits soupçonnés cancérigènes appelés THM. [3]
- L'augmentation du pH, favorise la dissolution d'une partie du coagulant qui précipite dans le réseau de distribution dès que les conditions de pH sont modifiées. Ce qui augmente la turbidité de l'eau, favorisant ainsi la formation de nids bactériens.
- Les algues provoquent le colmatage des filtres (surcoût d'énergie, vieillissement des filtres).

- Un grand nombre d'algues peuvent communiquer à l'eau le goût et l'odeur (d'herbes, de poisson, de moisissures, septique, etc). [4]

#### 4. Actions menées pour lutter contre le phénomène d'eutrophisation

Le contrôle efficace de l'eutrophisation des lacs et réservoirs dépend étroitement de la maîtrise du principal facteur responsable, notamment de l'apport excessif de nutriments favorisant le développement des plantes aquatiques. La réduction donc des apports exogènes de nutriments est la plus importante mesure à entreprendre. En parallèle des mesures basées sur le traitement des symptômes ou des effets de l'eutrophisation au niveau du plan d'eau doivent être envisagées. Certaines mesures, qu'il est possible de réaliser, peuvent être d'une importance particulière pour lutter contre l'eutrophisation. Pour cela, on trouve les mesures préventives et celles curatives.

##### 4.1 Mesures curatives

Actuellement, il existe tout un éventail de procédés applicables, en fonction des conditions locales, directement aux lacs et réservoirs pour faire face au problème d'eutrophisation : la destratification artificielle du plan d'eau, l'aération de l'hypolimnion, le siphonage de l'hypolimnion, le dragage des sédiments, le faucardage (récolte mécanique des macrophytes), le microtamisage (récolte mécanique) des algues, la lutte biologique (introduction de poissons herbivores) ... Ces solutions offrent un moyen de combattre temporairement les effets négatifs de l'eutrophisation. Ainsi, il faut noter qu'aucune de ces mesures ne sera suffisante si des mesures préventives ne sont pas simultanément appliquées.

##### 4.1.1 Choix de niveau de prise d'eau

Étant donné que la qualité de l'eau dans une retenue de barrage change dans le temps et dans l'espace notamment en fonction de la profondeur lors de la stratification thermique, le choix de niveau de prise d'eau dans la retenue doit être fait régulièrement et périodiquement selon le changement saisonnier. Ainsi ce choix repose sur la détermination de certains paramètres physico chimiques en fonction des profondeurs préétablis.

Du point de vue régime thermique, les eaux des retenues de barrages marocains par une stratification qui s'étale de juin à septembre. Globalement, les valeurs de température oscillent entre 11 et 29 °C en surface et entre 10 et 23 °C au fond.

La figure 1 montre que la température de la retenue de barrage Smir oscille entre 11 et 28,5°C en surface et entre 10,5 et 22,5°C au fond.

Généralement les couches superficielles des retenues des eaux de barrages marocains sont bien oxygénées. La figure 2 montre que, pour le cas de la retenue des eaux de barrage Sahla le pourcentage de saturation est entre 62 et 150 %. Quant aux eaux des couches profondes, elles subissent des fluctuations importantes au cours du cycle et variant entre des valeurs nulles (à partir du printemps) et 110 % de saturation.

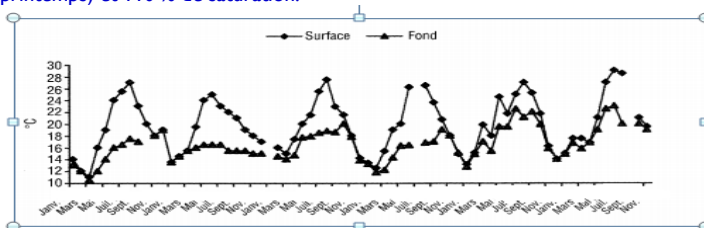


Figure 1 : Variation de la température des eaux de la retenue Smir [5]

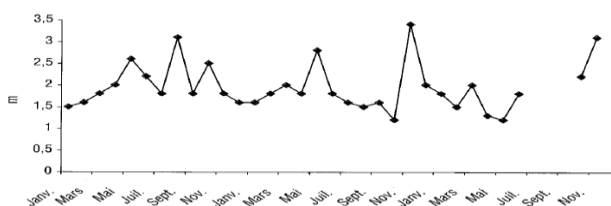


Figure 2 : Variation de l'oxygène dissous dans la retenue Sahla (% de saturation) [5]

A signaler que l'eau brute alimentant les stations de traitements doit répondre dans la mesure du possible aux critères suivants :

- Température aux environs de 15°C,
- pH voisin de 7,6 unités pH (meilleure floculation),
- Oxygène dissous de l'ordre de quelques milligrammes par litre,

- Absence totale d'hydrogène sulfuré. S'il est présent, le pH doit être compris entre 7,5 et 8,0 unités pH pour minimiser la formation des polysulfures,
- Demande en chlore minimale,
- Concentration en algues minimale avec si possible absence de filaments et de nanoplancton,
- Concentration en fer et en manganèse les plus faibles possibles.

Le choix de niveau de prise d'eau est important et joue donc un rôle primordial puisqu'il soulagera, par la suite, la chaîne de traitement de ces eaux en matière des réactifs utilisés et diminuera ainsi le coût du traitement appliqué.

#### 4.1.2 Les vidanges périodiques

Cette vidange se traduit l'ouverture périodique (tributaire de la pluviométrie) de la vanne du fond de la retenue. Cette opération vise à :

- Retarder l'apparition de l'hydrogène sulfuré  $H_2S$  au fond de la retenue.
- Diminuer le volume de la zone hypolimnique.
- Réduire le déficit en oxygène  $O_2$  dans les couches superficielles au moment du mélange des eaux.
- Améliorer les conditions oxygènes et réduire le manganèse dans l'hypolimnion.

#### 4.1.3 La déstratification artificielle

L'aération de l'hypolimnion, une technique d'aménagement des lacs et des réservoirs développée en Autriche, vise à contrer l'anoxie de l'hypolimnion et les problèmes qui y sont associés. Les objectifs poursuivis sont triples. Le premier est tout d'abord d'accroître le contenu en oxygène dissous de l'hypolimnion sans déstratifier l'ensemble de la colonne d'eau ni réchauffer l'hypolimnion. Le deuxième objectif, qui est lié au premier, est d'accroître l'habitat et la nourriture des espèces de poissons d'eau froide. Le dernier objectif est de réduire le recyclage du phosphore des sédiments en assurant une oxygénation de l'interface eau-sédiment dans les lacs où le fer contrôle la solubilisation du phosphore. Par la même occasion, le maintien d'un niveau adéquat d'oxygène dans l'hypolimnion permettra de réduire la production d'azote ammoniacal ( $NH_4^+$ ), de fer et de manganèse. [6]

#### 4.2.4 La solution biologique

L'introduction des consommateurs primaires (poisson phytoplanctonophage) dans les retenues eutrophes a été conçue comme une correction directe de l'accumulation de la biomasse phytoplanctonique.

Cette solution biologique a été mise en œuvre depuis 1987 par introduction de la carpe argentée de Chine (*Hypophthalmichthys molitrix*) dans les retenues de barrages à vocation eau potable et touchées par le phénomène d'eutrophisation [7]. La carpe argentée consomme les algues et a donc un impact sur la biomasse algale. En effet, son introduction dans les retenues de barrage permet de diminuer la vitesse de consommation de l'oxygène et des nitrates et contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité des eaux superficielles.

### Conclusion

Le programme mené par l'Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable, et qui est basé sur l'optimisation du niveau de puisement d'eau brute, du choix de la nature et des doses des produits de traitement, a permis de produire une eau répondant aux normes de potabilité. Les autres mesures curatives auxquelles l'Office a eu recours se sont avérées un moyen important pour la lutte contre les conséquences de l'eutrophisation qui touche les retenues de barrages à vocation eau potable. En effet, les vidanges sélectives et la déstratification artificielle ont engendré une amélioration de la qualité de l'eau brute, à travers la réduction de la demande en oxygène, lors du brassage des eaux des retenues.

La solution biologique, qui constitue une étape importante pour l'Office dans sa lutte contre les conséquences néfastes de l'eutrophisation sur la qualité des eaux des retenues de barrages, a eu un impact positif puisqu'elle a :

- permis une amélioration notable de la qualité des eaux manifestée par une réduction significative du pic de la biomasse algale et une diminution notable de la vitesse de consommation d'oxygène dissous dans les couches profondes des retenues de barrage empoisonnées,
- eu un intérêt socio-économique perceptible.

### Références

- [1] Anne Christine Le Gall Formulation de niveaux critiques en nutriments pour l'eutrophisation des eaux de surface, (INERIS) onema, Mars 2012, 1-41.
- [2] Ryding et Rast, le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs, Sciences de l'environnement num. 9, 1994, 294 p.
- [3] Fatiha Zidane et al. Contribution à l'étude de l'effet de la coagulation avant chloration sur la formation des trihalométhanes (THM) et composés organohalogénés (COX) dans les eaux alimentant la ville de Casablanca au Maroc, Revue canadienne de génie civil, 37(8), 2010, 1149-1156
- [4] François Proulx, Manuel Rodriguez and Jean-Baptiste Sérodes, Les goûts et les odeurs dans l'eau potable : revue des composés responsables et des techniques de mesure, 23(3), 2010, p. 303-323
- [5] El Ghachtoul Y., Alaoui Mhamdi M., Gabi H., Eutrophisation des eaux des retenues des barrages Smir et Sehla (Maroc) : causes et conséquences et consignes de gestion – Rev. Sci. Eau 18 (N°spécial 2005) 75-89.
- [6] Ministère de l'Environnement QUEBEC. Avis concernant l'aération ou la circulation artificielle de l'eau des lacs comme mesures de restauration de la qualité de l'eau - du 29 juillet 2003
- [7] A. FOURLANE, A. BOULOUDE & K. GHEDDA, Restauration de la qualité des eaux des retenues de
- [8] barrages, IAHS Publ. no. 243, 1997, 287-297.



## Etude de l'influence du couvert nival sur les eaux de surface du bassin versant d'Oum Er Rbia au Maroc

Abdelghani BOUDHAR<sup>1</sup>, Lahoucine HANICH<sup>2</sup>, Gilles BOULET<sup>3</sup>, Khadija OUTALEB<sup>1</sup>,  
Abdelkrim ARIOUA<sup>1</sup> et Bouchaib HAKKANI<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Université Sultan Moulay Slimane, Faculté des Sciences et Techniques, B.P. 523, Béni-Mellal, Maroc. E-mail : [ab.boudhar@usms.ma](mailto:ab.boudhar@usms.ma)

<sup>2</sup> Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, av. A. Khattabi, BP. 549, Marrakech, Maroc.

<sup>3</sup> CESBIO (Université de Toulouse, CNRS, CNES, IRD), 18 Av. Edouard Belin BPI 280 Toulouse cedex 4, France.

<sup>4</sup> Agence du bassin hydraulique d'Oum Er Rbia, Béni Mellal, Maroc.

### Résumé

*Le but de ce travail est de mettre en évidence l'influence du couvert nival dans le bassin versant d'Oued Oum Er Rbia, au centre du Maroc. A l'échelle spatiale, le réseau de mesure dans ce bassin est très limité en particulier en zones montagneuses où l'accès est difficile, ainsi que la zone est dépourvu des stations nivales. Afin de combler ce manque des mesures in situ, essentiellement pour évaluer l'apport des précipitations solides (neige) dans le bilan hydrique, nous avons fait appel à des données de télédétection spatiale. Pour cela, le produit MOD10A2 du capteur MODIS à basse résolution et disponible gratuitement a été utilisé pour extraire les surfaces des neiges en hautes altitudes. Ces surfaces sont ensuite transformées en équivalent en eau via une modélisation conceptuelle. Les résultats obtenus nous ont permis d'estimer l'importance du manteau neigeux dans le bilan hydrologique du bassin versant d'Oum Er Rbia.*

**Mots clés :** Haut Atlas, Télédétection, Manteau neigeux, Modélisation.

## Study of the snow cover influence on the streamflow of the Oum Er Rbia watershed in Morocco

### Abstract

*The aim of this study is to highlight the snow influence in the Oum Er Rbia watershed in the centre of Morocco. In this region, the measurement network is very limited especially in mountainous areas where access is difficult, and the area is without the snowpack stations. To fill this scarcity of in situ measurements, mainly to assess the contribution of solid precipitation (snow) in the water balance, we used remote sensing data. For this purpose, MOD10A2 product with low spatial resolution and available for free was used to extract the snow surfaces at high altitudes. These surfaces are then converted into water equivalent using a conceptual modelling. The results allowed us to estimate the importance of the snowpack in the water balance of the Oum Er Rbia watershed.*

**Key Words:** High Atlas, Remote sensing, Snow cover, Modelling.

## Introduction

Au Maroc, les montagnes fournissent aux plaines arides avoisinantes et à leurs centres urbains des ressources indispensables à leur développement économique et social. En plus de son rôle physique en tant qu'une barrière qui sépare le Sahara de la Méditerranée, ses chaînes montagneuses sont aussi un important facteur de diversité sur le plan climatique, écologique, économique et humain. En un premier lieu, elles jouent le rôle du château d'eau pour les plaines arides qui l'entourent [1]. Sur ses versants s'écoulent plusieurs grands fleuves vitaux pour le Maroc (Oum Er Rbia, Sebou, Moulouya...etc). Ils pourvoient en eau des régions de plaine à vocation agricole (Tensift, Tadla, Doukala, Sous) au Nord et des vallées-oasis au Sud (Ziz, Darâa, Dedès...) [2, 3 et 4]. Ces cours d'eau fournissent en outre au Maroc une part non négligeable de son énergie électrique. Dans le cas du bassin versant d'Oued Oum Er Rbia, les eaux issues des hautes altitudes atlasiques sont la principale source pour l'alimentation des barrages, recharge des nappes et irrigation des périmètres irrigués. Une part importante cette eau douce est stockée temporairement sous forme de neige avant d'être restituée à travers les écoulements de surface pendant la période de fonte. De point de vue énergétique, la zone offre deux tiers de l'énergie hydro-électrique du Maroc. Le couvert nival dans cette zone constitue donc un aspect essentiel de la gestion de l'eau, car il contrôle une partie de la disponibilité de l'eau en plaines. L'objectif de ce travail est de mettre en évidence l'importance du couvert nival dans le bilan hydrologique du sous bassin versant d'Oued El Abid (Affluent de Oued Oum Er Rbia). Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé l'historique des données hydro-climatiques enregistrées dans divers stations de la zone d'étude et des séries d'images du produit de synthèse de 8 jours issues du capteur MODIS.

## I. Données et Methodes

### I.1. Zone d'étude

Le présent travail est focalisé sur le sous bassin versant de Tillouguite, du bassin versant d'Oued El Abid, principal affluent de l'Oued Oum Er Rbia. Il se situe à 60 km au Sud de la ville de Beni Mellal au Maroc (Figure 1). C'est un bassin versant montagneux à régime hydrologique de type pluvio-nival. Il se caractérise par un potentiel important en ressource en eau pour l'alimentation du barrage de Bin El Ouidane et la recharge les nappes des plaines en aval. De point de vue topographique, 70% de la surface totale du bassin versant de Tillouguite est occupé par des altitudes comprises entre 1400 et 3000 mètres. Le climat se caractérise par deux saisons contrastées, la saison de l'été chaud et sèche avec des températures élevées avoisinant les 41 °C dans les mois de Juillet et Août, la saison de l'hivers pluvieuse et plus froides avec des températures d'environ de -6 °C au mois de janvier/février. En hivers, les précipitations au niveau des hautes altitudes tombent sous les deux formes liquide et solide. Malgré l'importance du couvert nival, le bassin étudié est dépourvu des mesures de la composante neige.

### I.2. Données Hydro-climatiques

Les données hydro-climatiques (débits, température et précipitations) utilisées dans cette étude sont issues de la station de Tillouguite situé à 1100 mètres d'altitude (Figure1). Les séries journalières de l'ensemble des données ont été synthétisées à un pas de temps de huit jours, compatibles avec les images MOD10A2.

### I.3. Le produit neige MOD10A2

Le produit MOD10A2 a été utilisé dans ce travail pour cartographier les surfaces de neige à l'échelle du bassin versant. Ces données sont archivées et distribués par "National Snow and Ice Data Centre" (NSIDC) (<http://nsidc.org/data/>) à Boulder, CO, USA. MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectro-radiometer) est un capteur installé à bord des deux satellites TERRA (EOS l'AM) et AQUA (EOS PM) de la NASA, respectivement lancés le 1er décembre 1999 et le 4 mai 2002. Lors de son lancement, la bande 6 (moyen infra-rouge) du satellite Aqua a été fortement endommagée. C'est pourquoi, nous n'utiliserons dans cette étude que les données issues du satellite TERRA. Les données du satellite Terra ont la dénomination "MOD", la fréquence d'acquisition des images est généralement quotidienne ou tous les deux jours dans 36 bandes spectrales de 0.4 à 14.4 µm. Quant à la résolution spatiale, elle est comprise pour l'ensemble des produits entre 250 m et 1 km. Ce capteur a des fauchées de plus de 2200 km et un champ de vue de l'ordre de 110° (angle zénithal de visée compris entre 55° et +55°). Les données hebdomadaires (le produit MOD10A2) comportent deux canaux dénommés « Maximum Snow Cover » et « Eight Day Snow Cover ». Le « Eight Day Snow Cover » quand à lui donne une chronologie sur la présence de neige avec un code pour chaque jour de neige. Le « Maximum Snow Cover » donne, comme son nom l'indique, une information sur la couverture neigeuse maximale sur la période de 8 jours. La valeur attribuée au pixel est la valeur observée majoritairement sur la période. Si un pixel est codé cinq fois en "snow" et trois fois en "no snow", la valeur gardée sera donc "snow". C'est ce dernier canal qu'on a utilisé dans cette étude.

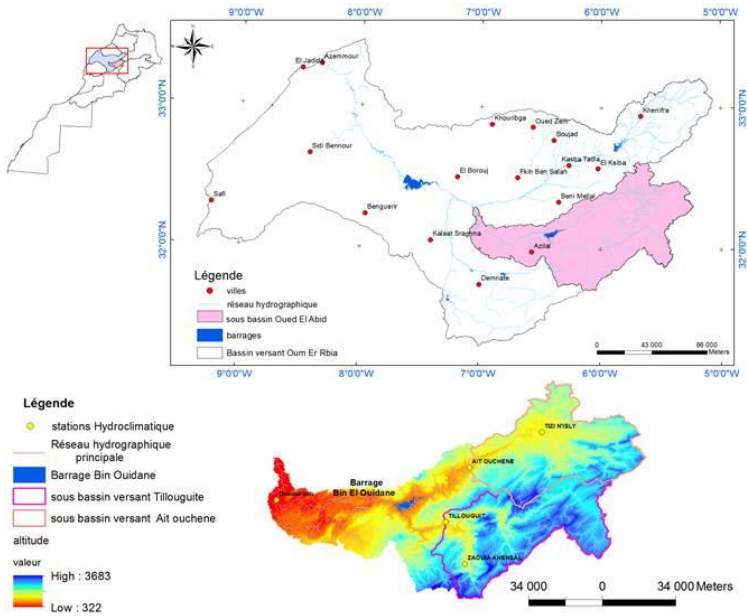


Figure 1. Situation de la zone d'étude

#### 1.4. Modèle de fonte

Afin de mettre en évidence l'influence de la composante neige au niveau du bassin versant, nous avons calculé la fonte potentielle à la base d'un modèle de fonte dite : degré jour selon l'équation suivante :

$$FP = \begin{cases} SCA(Ta - T0) \times a, & Ta > T0 \\ 0, & Ta < T0 \end{cases}$$

Avec :

FP est la lame d'eau (en m<sup>3</sup>) écoulee après la fonte du manteau neigeux, elle est estimée à partir de la superficie de neige (SCA en km<sup>2</sup>), facteur de fonte ou facteur degré jour a (mm/j/°C), la température moyenne de l'air (Ta en °C) et la température critique (T0) au-dessus de laquelle se fait la fonte de neige. La température critique est souvent égale à 0 °C [5]. Afin d'obtenir une simulation réaliste de la fonte, il est fortement recommandé de calculer des valeurs locales du facteur degré jour a. Au niveau du Haut Atlas, Boudhar et al. 2009 [3] ont déterminé que ce facteur varie au cours de la saison entre 3 et 5 mm/°C/jours.

#### 2. Résultats et discussion

La figure 2 montre le lien existant entre les précipitations et les débits mensuels interannuels à la station de Tillouguite sur la période 1990 à 2010/11. On constate que les mois d'Aout à Janvier s'alignent sur une même droite, quand les précipitations augmentent les débits augmentent mais restent inférieurs à 10 m<sup>3</sup>/s. De plus, on peut voir que les mois de Février à Mai s'alignent sur une autre droite faisant augmenter les débits plus fortement qu'avec la droite précédente (plus de 10 m<sup>3</sup>/s). La courbe représentée par l'alignement des points bleus pourrait correspondre au régime d'écoulement issu essentiellement des précipitations pluvieuses alors que la deuxième droite, représentée par l'alignement des points rouges correspondrait à l'influence de la fonte des neiges produisant une augmentation du débit à l'exutoire, on peut voir de plus que cette augmentation forte de débits apparaît très nettement au mois de avril et mars.

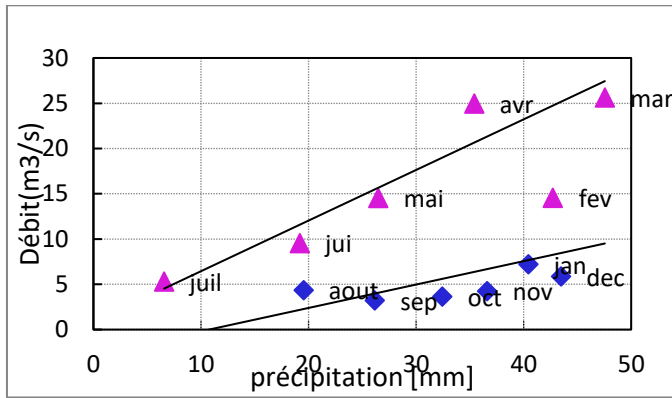


Figure 2. Relation pluie-débit mensuelles (Période 1990-2011)

La figure 3 illustre le lien entre les débits mesurés à l'exutoire du bassin versant et les surfaces de neige calculée à partir des données de télédétection. D'une façon générale nous constatons que les taux de variation des surfaces enneigées de neige sont cohérents avec les fluctuations des débits. On note que les pics des surfaces enneigées sont toujours suivis par un maximum des débits. Cela indique que le bilan hydrologique du bassin versant est toujours influencé par la fonte des neiges. Dans notre contexte, les cartes d'enneigement issues des images de télédétection constituent la seule information disponible pour estimer la fonte des neiges.

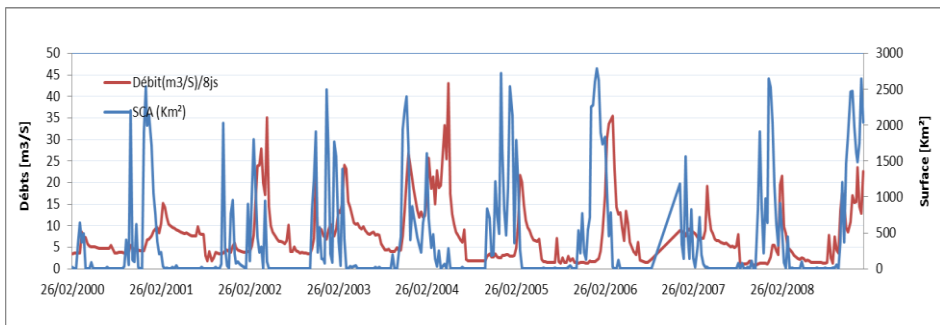


Figure 3 : Séries temporelles des débits mesurés à l'exutoire du bassin versant et les surfaces de neige

La figure 4 illustre la variation temporelle des débits à l'exutoire du bassin versant et la fonte potentielle estimée à partir des surfaces de neige cartographiées à l'aide de la télédétection. D'après ce graphe, le lien entre la quantité d'eau potentiellement disponible après la fonte du manteau neigeux et les débits est bien net. On note ici une influence directe des eaux de fonte aux débits, après chaque pic des eaux de la fonte les débits augmentent.

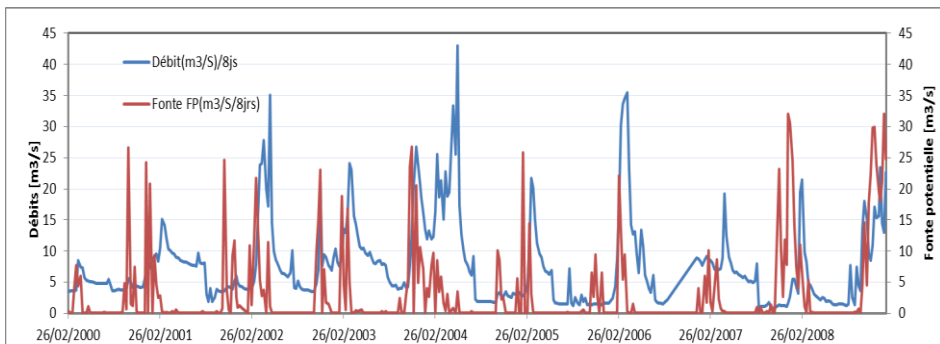


Figure 4 : Estimation de la fonte potentielle des surfaces de neige en relation avec les débits

## Conclusion

Au cours de ce travail, les images du produit MOD10A2 nous ont permis de cartographier les surfaces de neige dans le bassin versant de Tillouguite et de suivre sa dynamique temporelle. Ces séries spatio-temporelles caractérisant la neige constituent la seule information disponible pour avoir une idée sur la contribution de la composante neige dans la zone étudiée. De ce fait, les surfaces de neige ont été utilisées pour estimer la fonte potentielle du manteau neigeux par l'intermédiaire d'un modèle simple. Les lames d'eau de fonte simulées montrent une corrélation nette avec les pics des débits en fin d'hivers et en printemps. Ces résultats restent en phase préliminaires et nécessitent plus de prospection sur la dynamique des surfaces neigeuses en relation avec la ressource hydrique d'une part et vis-à-vis des changements du climat. Il s'agit des aspects primordiaux pour les gestionnaires des bassins versants au Maroc pour mettre en place des stratégies adéquates en termes de quantification et de prévisions de devenir des ressources en eaux. A signaler que cela nécessite le renforcement des mesures de terrain pour minimiser les incertitudes liées aux modèles.

## Remerciement

Les auteurs ont bénéficiés d'un soutien du laboratoire Mixte international (TREMA) et d'une bourse de recherche N° W/5400-1 de l'IFS (International Foundation For Sciences). Les auteurs remercient l'Agence du Bassin Hydraulique d'Oum Er Rbia de nous fournir les données hydro-climatiques et le « National Snow and Ice Data Center, and NASA » de mettre à notre disposition les données du produit neige MOD10A2.

## Références

- [1] Chehbouni, A., Escadafal, R., Boulet, G., Duchemin, B., Simonneaux, V., Dedieu, G., Mougénot, B., Khabba, S., Kharrou, H., Merlin, O., Chaponnière, A., Ezzahar, J., Erraki, S., Hoedjes, J., Hadria, R., Abourida, H., Cheggour, A., Raïbi, F., Boudhar, A., Hanich, L., Guemouria, N., chehbouni, A., Olioso, A., Jacob, F. and Sobrino, J. (2008) An integrated modelling and remote sensing approach for hydrological study in semi-arid regions: the SUDMED Program. *International Journal of Remote Sensing*, 29:5161-5181.
- [2] Schulz, O. et de Jong, C. (2004): Snowmelt and sublimation: field experiments and modelling in the High Atlas Mountains of Morocco. *Hydrology and Earth System Sciences* 8(6), 1076–1089.
- [3] Boudhar A., L. Hanich, G. Boulet, B. Duchemin and A. Chehbouni (2009), Evaluation of the Snowmelt Runoff Model in the Moroccan High Atlas Mountains using two snow-cover estimates, *Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques*. 54(6) 2009.
- [4] Boudhar A., B. Duchemin, L. Hanich, L. Jarlan, A. Chaponnière, P. Maisongrande, G. Boulet, A. Chehbouni, Long term analysis of snow covered-area in the Moroccan High-Atlas through remote sensing. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform.* pp. S109-S115. doi:10.1016/j.jag.2009.09.008 (2010).
- [5] Hock, R., 2003. Temperature index melt modelling in mountain areas. *J. Hydrol.* 282,104–115.

## Modélisation hydro-sédimentaire à l'échelle de la parcelle

Hermassi Taoufik

Institut National des Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts, Rue Hédi Karray, BP  
N°10, 2080 Ariana, Tunisie. taoufikhermassi@yahoo.com

### Résumé

*Les phénomènes d'érosion hydrique sont les résultats d'interactions complexes, variables dans le temps et dans l'espace, les principaux moteurs d'érosion sont la chute des pluies et l'impact des gouttes de pluies à la surface du sol, le ruissellement et sa concentration dans les chenaux et les cours d'eau. La modélisation de l'érosion hydrique devant servir d'outil de prédiction, afin d'évaluer les risques d'érosion dans le but d'établir des plans d'aménagement pour la conservation des sols, plusieurs types de modèles peuvent être utilisés à savoir les modèles empiriques, qui cherchent à quantifier et à cartographier l'érosion en exploitant les résultats d'observations hydrologiques et les modèles à base physique, qui cherchent à quantifier et à cartographier l'érosion en proposant des équations mathématiques représentant les différents processus d'érosion et de dépôt.*

**Mots clés :** Ruissellement, érosion, parcelle, modélisation

## Hydrological and sediment modeling at plot scale

### Abstract

*Water erosion is the result of complex interactions, it's variable in time and space, the main erosion factor are rainfall intensity and the impact of raindrops on the soil surface, the and its runoff concentration in streams. Water erosion modeling serve as a predictive tool to assess the risk of erosion in order to develop management plans for the conservation of soil, several types of models can be used as empirical models that seek to quantify and map the erosion by exploiting the results of hydrological observations and physically-based models, which seek to quantify and map the erosion by providing mathematical equations representing the different process erosion and deposition.*

**Key Words:** Runoff, erosion, plot scale, modeling

## Introduction

La modélisation de la réponse érosive d'un versant nécessite la compréhension de son fonctionnement hydrologique et sédimentaire par une analyse des processus et des facteurs qui la conditionnent. Ces processus et facteurs sont cependant susceptibles d'interactions et pour comprendre la réponse érosive d'un versant il convient de s'intéresser en particulier aux effets de seuil et aux conditions initiales d'état de surface des sols, notamment à sa variabilité saisonnière selon le calendrier cultural pratiqué. Les questions de connectivité entre les différentes composantes du versant jouent également un rôle important sur sa réponse érosive. Les variabilités spatiale et temporelle de cette réponse mettent souvent en échec les modèles conceptuels établis à partir de l'observation de quelques sites ou de quelques épisodes pluvieux.

En ce qui concerne le choix du modèle à base physique, pour la plupart d'entre elles, les approches de modélisation restent cependant globales et considèrent la surface de la parcelle comme homogène, produisant un écoulement généralisé non hiérarchisé. Or les observations de terrain montrent que le ruissellement est généralement hiérarchisé au sein de la parcelle, de telle sorte que l'écoulement superficiel se concentre assez rapidement sur des axes de drainage qui disparaissent après les labours mais se reforment au cours de la saison des pluies. Parmi les modèles les mieux adaptés aux besoins de modélisation du ruissellement et de l'érosion à l'échelle de la parcelle et d'une ravine est le modèle LISEM [1,2].

## I. Matériel et méthode

### 1.1. Présentation du site d'étude

La parcelle étudiée appartient au petit bassin versant du lac collinaire d'El Gouazine localisé dans le Gouvernorat de Kairouan au Centre de la Tunisie. La parcelle (2900 m<sup>2</sup>) a été choisie en aval du bassin versant d'El Gouazine, dans un espace inter-banquettes en position de bas versant. Elle est localisée sur des sols limono-sableux en surface, limono-argilo-sableux en profondeur, et elle est représentative de la modalité d'occupation du sol d'une ancienne jachère pâturée et une parcelle labourée cultivée en blé [3].

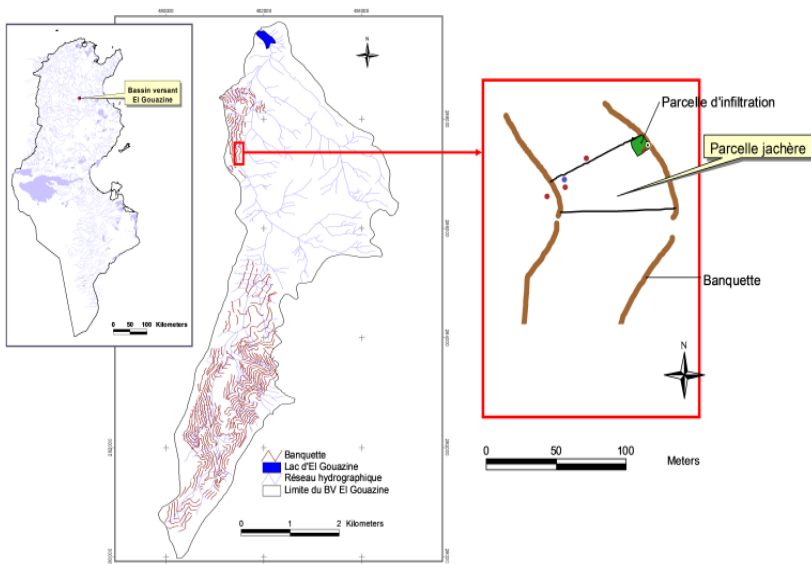


Figure 1. Localisation du site expérimental sur le bassin versant d'El Gouazine.

La superficie de la parcelle en jachère est de 2900 m<sup>2</sup>, sa longueur moyenne est de 75 m. La pente moyenne du terrain entre le pied de la banquette amont et le bord du canal aval est de 6,7%. La parcelle en jachère n'est plus cultivée depuis plus de 10 ans. Son couvert végétal est constitué de plantes herbacées et de quelques arbustes.

La topographie de la parcelle en jachère, réalisée à partir de levés topographiques au tachéomètre laser et le tracé des courbes de niveau suggère l'existence de trois axes d'écoulement, toutefois, la circulation de l'eau sur cette parcelle n'est cependant pas matérialisée par des chenaux bien marqués et le ruissellement s'effectue en nappe sur plus de la moitié de la superficie de la parcelle.



## **1.2. Présentation du modèle LISEM**

Le modèle LISEM (Limburg Soil Erosion Model ; [1,2]) est un modèle qui simule le fonctionnement hydrologique et le transport de sédiments pendant et juste après un événement pluvieux dans un petit bassin versant. Les processus de base incorporés dans le modèle sont : les précipitations, l'interception, le stockage dans les micro-dépressions, l'infiltration, le mouvement vertical de l'eau dans le sol, l'écoulement de surface, l'écoulement dans des chenaux, le détachement des particules du sol par les précipitations et par l'écoulement de surface, ainsi que le transport des particules par l'écoulement de surface.

La base de données d'entrée du modèle LISEM se compose d'une série de cartes créées avec ou converties dans le système d'information géographique GIS PCRaster. En outre LISEM a besoin des données d'intensité des précipitations. LISEM a besoin d'au moins 24 cartes selon les options choisies dans l'interface, toutes les cartes peuvent être dérivées de 4 cartes de base correspondant au modèle numérique de terrain, aux types de sols, à l'occupation du sol et aux zones imperméables (routes, pistes, plans d'eau, zones saturées...).

Le modèle fournit non seulement les valeurs totales du bilan des ruissellements et de l'érosion des sols du bassin versant, mais également des séries temporelles qui peuvent être produites à intervalles réguliers ou choisies par l'utilisateur avec tel que les hydrogrammes et les turbidigrammes des crues pour trois exutoires, les cartes d'érosion et de dépôt et les séries chronologiques de hauteurs d'eau à la surface du sol, de lames ruisselées, d'érosion et de dépôt.

## **2. Résultats et discussions**

### **2.1. Analyse de sensibilité**

L'analyse de sensibilité du modèle LISEM aux paramètres de ruissellement sont essentiellement le coefficient de Manning, la conductivité hydraulique à saturation et la teneur en eau initiale. En ce qui concerne les paramètres du modèle LISEM qui déterminent la sensibilité des sols à l'érosion, l'analyse porte sur la cohésion du sol, à la stabilité des agrégats et au diamètre médian des particules du sol.

En effet l'influence de la conductivité hydraulique à saturation est relativement faible mais significative sur les volumes ruisselés et les pertes en sol. La rugosité de Manning pour la surface du sol a une influence très significative sur le débit maximum des crues et sur la perte en sol. La teneur initiale en eau du sol a un rôle très significatif sur le volume ruisselé et sur la perte en sol mais ce paramètre présente un intervalle de variation très restreint, de telle sorte qu'il sera difficile d'utiliser l'humidité initiale du sol comme paramètre d'ajustement.

L'analyse de sensibilité a montré une sensibilité significative du modèle LISEM aux variations du diamètre médian des particules pour le calcul des pertes en sol, il est sensible aussi aux variations de la teneur en eau initiale du sol, de la conductivité hydraulique à saturation et de la rugosité hydraulique.

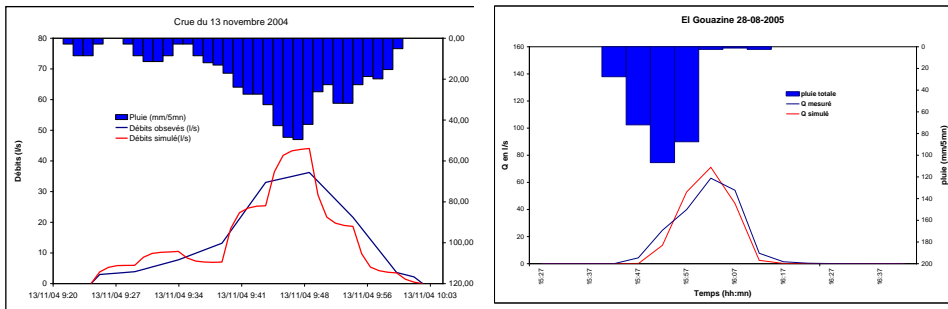
Pour le calage du volume ruisselé, le paramètre choisi est la conductivité hydraulique à saturation. Pour caler le débit maximum, seule la rugosité de Manning sur le sol peut être utilisée. Pour le calage de la perte en sol, il est possible d'utiliser le diamètre médian des particules de sol et la rugosité de Manning des chenaux.

### **2.2. Simulation du ruissellement**

La figure 2.a représente le résultat de calage du modèle LISEM pour la crue du 13/11/2004, on peut remarquer que les deux hydrogrammes sont semblables et les volumes sont proches. La figure 2.b représente le résultat de la validation du modèle LISEM pour la crue du 28/08/2005, on peut remarquer que le modèle simule bien l'hydrogramme de crue ainsi que le volume.

Pour le calage et la validation, les critères de Nash sont respectivement de l'ordre de 0,93 et 0,87 et les erreurs relatives sur les volumes sont respectivement de l'ordre de 5% et de 15%, toutefois, l'erreur sur le débit est de l'ordre de 15% pour les deux cas.

Les résultats de simulation ont montré que le modèle LISEM peut, après calibration, donner de bonnes prédictions des débits mais avec une légère sur-estimation des volumes ruisselés.



(a) Calage du modèle LISEM pour la crue du 13 novembre

(b) Validation du modèle LISEM pour la crue du 28 août 2

Figure 2. Simulation du ruissellement par le modèle LISEM

### 2.3. Simulation de l'érosion hydrique

Le volume total des sédiments simulé par le modèle est supérieur à celui enregistré pendant cette période car le modèle LISEM simule les apports solides de tout l'écoulement. Les sédiments apportés par ces derniers ne sont pas retenus dans le canal de la banquette, mais peuvent être déposés en cours de route alors que le modèle calcule les apports de telle façon qu'il suppose que tout le ruissellement est retenu au niveau de l'exutoire, expliquant ainsi cette variation.

Le calcul de l'érosion totale, correspondant aux matériaux déposés dans le canal, a été estimé à 130 m<sup>3</sup> sur la période de fonctionnement de cet ouvrage, soit 12 ans depuis sa mise en place. Les résultats de simulation par LISEM donne une érosion d'environ 5,66 m<sup>3</sup> ce chiffre est semble être faible par rapport à la moyenne sur la période d'installation mais surestime le volume mesuré par tachéomètre laser d'environ 30%.

Lorsque les précipitations sont faibles, la lame d'eau ruisselée n'est pas capable de transporter des grains grossiers. Les particules fines et moyennes se déposent en amont et n'arrivent pas au canal de la banquette. La partie aval est considérée la plus stable puisque elle est soumise seulement à l'érosion par effet splash, il n'y a pas d'écoulement qui peut générer un ruissellement provoquant le départ des matériaux. Cette distribution granulométrique des sédiments est attribuée à la dynamique érosive de l'eau liée aux événements pluvieux torrentiels caractéristiques de la région.

### 3. Conclusion

La modélisation du transport solide présente certaine limites. En effet, les écoulements préférentiels qui sont souvent liés au transport solide par charriage, ont une épaisseur de lame d'eau assez importante pour que la vitesse du fluide autour des grains soit assez éloignée de sa valeur moyenne obtenue par le système de Saint-Venant. Par ailleurs, le dépôt à mi-chemin entre l'amont et l'aval de la parcelle est difficilement quantifiable à des échelles très réduites.

Néanmoins, le modèle LISEM pourrait être calibré pour donner de bonnes prédictions des débits liquides pour certains événements, et a donné également des résultats raisonnables par rapport aux débits solides. L'introduction de certaines améliorations dans le modèle d'érosion distribué LISEM, devrait permettre une meilleure compréhension du fonctionnement érosif de la parcelle et des changements dans les paysages agricoles, grâce à la possibilité offerte de mesurer l'influence des formes spatiales du paysage sur les processus physiques et environnementaux.

### Références

- [1] DE ROO A.P.J., WESSELING C.G. AND RITSEMA C.J. 1996 - LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. II: sensitivity analysis, validation and application. Hydrological Processes, 10, 1119-1126.
- [2] DE ROO A.P.J. AND JETTEN V.G. 1996 - Calibrating and validating the litem model for two data sets from the Netherlands and South Africa. CATENA, 37(3-4): 477-493, 1999. ISSN 0341-8162. doi: 10.1016/S0341-8162(99)00034-X.
- [3] HERMASSI T. 2010 - Paramétrisation des modèles hydrologiques à base physique sur les petits bassins versants des lacs collinaires de la Dorsale tunisienne. Thèse Doctorat de l'INAT. Tunisie. 263 pp.

## Calcul des flux par les méthodes de : $\log(C)=f \log(Q)$ et $\log(Q_s)=f \log(Q)$ , relations tronquées et comparaison de la validité de ces courbes de transport dans l'estimation des flux bassin versant de l'oued Mina, Nord Ouest d'Algerie

Faiza Hallouz<sup>1,2</sup>, Mohamed Meddi<sup>2</sup> et Gil Mahé<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université Djilali Bounaama de Khesmi Miliana, Ain Defla, Algérie, [Hallouzfaiza@gmail.com](mailto:Hallouzfaiza@gmail.com)

<sup>2</sup> LGEE, ENSH, Blida, Université de Khemis Miliana, Algérie, [mmeddi@yahoo.fr](mailto:mmeddi@yahoo.fr)

<sup>3</sup> IRD, Université Mohamed V, Rabat Maroc [gilmahe@hotmail.com](mailto:gilmahe@hotmail.com)

### Résumé

Le bassin versant de l'oued Mina affluent de la rive gauche du Cheliff près de Sidi Khettab au Nord de Relizane s'étend sur 6 000 km<sup>2</sup> environ. Ce bassin représente environ 13% de la superficie de l'ensemble du bassin Cheliff-Zahrez, il est assez bien représentatif de beaucoup de bassins de la frange semi aride du Nord de l'Algérie en ce qui concerne les paramètres physico-climatiques et leurs influences sur les phénomènes d'érosion en général et le transport solide en particulier. Dans cet article, les flux sont calculés en utilisant les courbes sédimentaires  $\log(C)=f \log(Q)$  et  $\log(Q_s)=f \log(Q)$ , les régressions tronquées en adoptant une méthodologie de calcul proposé par Coynel, 2005 et dont les résultats étaient satisfaisants. nous avons effectué une analyse comparative de la pertinence des différentes techniques appliquées pour l'estimation des flux annuels. Pour cela, nous avons retenu trois méthodes appliquées sur les données des deux stations : Oued El Abtal et Sidi AekDjillali vu que ces deux stations contrôlent des sous bassins qui sont responsables sur le transport solide dans le bassin de l'oued Mina, en effet la station d'oued Abtal contrôle le 5/6 du bassin de l'oued Mina soit plus de 5000km<sup>2</sup> ainsi que la station de Sidi AekDjillali contrôle une zone marneuse d'environ 500km<sup>2</sup> : les courbes de transport «  $\log Q_s = b \log Q + \log a$  » représentant l'intégralité des données : méthode M1, les courbes de transport tronquées : méthode M2 et les relations entre les flux annuels et les débits annuels, et les coefficients « Four » : méthode M3.

En effet, la méthode qui semble suivre au mieux les variations des flux est la méthode M2 pour les données des deux stations. La méthode M3, estime les flux de manière globale au travers du débit moyen annuel et de l'indice « Four », il semble donc que l'équation de régression ne parvient pas à prendre en compte la dynamique du transfert sédimentaire (saisonnalité du transport solide), en outre, les valeurs des erreurs calculées sont très élevées en particulier pour l'année 1984/1985 (Année à faible transport de sédiments).

**Mots clés :** Bassin oued Mina, flux de sédiments, courbes sédimentaires, courbes de transports tronquées

## Calculation of flows by the methods of: $\log(C) = f \log(Q)$ and $\log(Q_s) = f \log(Q)$ , truncated relationships and comparison of the validity of these transport curves in the estimation of flows from the wadi Mina, North West of Algeria

### Abstract

The watershed of the wadi Mina flowing from the left bank of the Cheliff near Sidi Khettab to the north of Relizane covers about 6,000 km<sup>2</sup>. This basin represents approximately 13% of the surface of the whole Cheliff-Zahrez basin, it is rather well representative of many basins of the semi-arid fringe of North of Algeria with regard to the physico-climatic parameters and their influences on erosion phenomena in general and solid transport in particular.

In this paper, the flows are calculated using the sedimentary curves  $\log(C) = f \log(Q)$  and  $\log(Q_s) = f \log(Q)$ , the regressions truncated by adopting a calculation methodology proposed by Coynel, 2005 and whose results were satisfactory. we carried out a comparative analysis of the relevance of the various techniques applied for the estimation of annual flows. For this, we have selected three methods applied to the data of the two stations: Oued El Abtal and Sidi AekDjillali since these two stations control sub-basins that are responsible for the solid transport in the Oued Mina basin, indeed the Abtal wadi station controls the 5/6 of the basin of the wadi Mina is more than 5000km<sup>2</sup> as well as the station of Sidi AekDjillali controls a marly area of about 500km<sup>2</sup>: the transport curves " $\log Q_s = b \log Q + \log a$ " representing the data completeness: M1 method, truncated transport curves: M2 method and the relationships between annual flows and annual flows, and "Four" coefficients: M3 method. Indeed, the method that seems to best follow the flow variations is the M2 method for the data of the two stations. The M3 method, estimates flows globally through the mean annual flow and the "Four" index, it seems that the regression equation fails to take into account the dynamics of sediment transfer (seasonality of transport solid), in addition, the calculated error values are very high, particularly for the year 1984/1985 (Year of low sediment transport).

**Key Words:** Wadi Mina basin, sediment flow, sedimentary curves, truncated transport curves

## Introduction

La quantification des flux de MES dans les systèmes fluviaux est réalisée à partir des mesures de concentrations et de débits. Le choix d'une méthode de calcul performante est devenue une préoccupation majeure, afin d'estimer au mieux les flux annuels. Cependant, les méthodes de calcul des flux sont un domaine en plein développement grâce aux moyens de calculs toujours plus performants, aux séries de plus en plus longues, donc plus informatives et à l'inventivité des chercheurs. Certaines études de synthèse ou comparatives marquent de réelles avancées telles que : [1]; [2]; [3]; [4]; [5]; [6] et [7]. Dans cette partie, les flux sont calculés en utilisant les courbes sédimentaires  $\log(C)=f \log(Q)$  et  $\log(Q_s)=f \log(Q)$ , les incertitudes des deux méthodes sont évaluées à partir des données journalières de débits (solides et liquides) et des concentrations en MES.

## I. Matériel et méthodes

### I.1. Présentation de la zone d'étude

Situé en zone semi-aride, le bassin versant de l'Oued Mina présente une forte érodabilité et une bonne disponibilité de données pluviométriques et hydrométriques. Situé à environ 300 km à l'ouest d'Alger, le bassin versant de l'Oued Mina draine, au niveau du Barrage de Sidi M'Hamed Ben Aouda (SMBA), une superficie de 6 048 km<sup>2</sup>. L'Oued Mina est parmi les principaux affluents de l'Oued Cheliff. Il y a deux barrages sur l'oued Mina, le barrage SMBA, objet de notre étude, et le barrage de Bakhadda, situé 90 km en amont. L'étude topographique (Meddi, 1992) a permis de ranger les bassins étudiés dans la classe de relief fort, selon la classification de l'IRD [8]. Le climat de la région est de type semi-aride méditerranéen avec une pluie moyenne annuelle de 305 mm marquée par une irrégularité aussi bien saisonnière qu'interannuelle [9]. Par ailleurs, l'analyse de la répartition géographique et de la diversité des formations végétales sur le bassin a montré deux parties nettement distinctes ([10]; [11]): la zone Nord purement marneuse, fortement érodée et dépourvue de végétation à l'exception de quelques îlots de reboisement et de plantations d'arbres fruitiers dans la vallée, et la zone sud moins érodée et dont environ 50% de la surface sont recouverts par une végétation de densité très variable et parsemée, allant de la forêt (Pin d'Alep) localisée, au maquis de couverture très éparse. Il y a lieu de noter qu'une agriculture d'autosubsistance y règne avec une surexploitation des sols, un défrichement permanent et un surpâturage intensif.

### I.2. Origine des données

Pour notre étude, nous nous sommes basés sur les données des stations de Sidi AEK Djilali et Oued El Abtal sur oued Mina Haddad, pour une période de 32 ans (1968-2002).

### I.3. Calcul des flux par la méthode $\log(C)=f \log(Q)$ et $\log(Q_s)=f \log(Q)$

En plus de la période totale, nous avons sélectionné pour chaque station, trois années de données  $\log(C)$ ,  $\log(Q_s)$  et  $\log(Q)$ , représentant différentes conditions hydrologiques, une année sèches, (Oued El Abtal : 1993-94 et Sidi Aek Djilali : 1992-93); une année humide (1995-96 pour la station de Oued Abtal, et l'année 1994-95 pour la station de Sidi Aek Djilali) et une année normale (Oued Abtal : 1990-91, Sidi Aek Djilali 1997-98). Pour chaque année, deux courbes de régression ( $\log(C)=f \log(Q)$  et  $\log(Q_s)=f \log(Q)$ ) ont été effectuées, les mêmes régressions ont été également établies sur les périodes totales. Les concentrations en matières en suspension C, les débits solides  $Q_s$  et les flux annuels en matières en suspension (Flux prédit) ont été recalculés à partir des droites de régressions en utilisant les débits mesurés. Pour les deux types de régressions les flux mesurés sont différents parce que les méthodes de calcul du débit solide sont différentes. Le calcul des débits solides journaliers pour la régression  $\log(C)=f \log(Q)$  a été effectué en multipliant directement les débits moyens journaliers par les concentrations moyennes journalières.

### I.4. Calcul des flux par la méthode des relations tronquées

Dans ce qui précède, nous avons constaté que l'élaboration des courbes de transport, peut être fortement influencé par le fort pourcentage des faibles valeurs des concentrations en MES et de débits, qui forment un nuage de points diffus. Ainsi, vu la faible contribution de ces faibles valeurs au flux annuel, l'estimation des flux à partir des régressions tronquées devrait donc dépendre de la validité de ces courbes. Toutefois, le calcul des flux à partir des régressions tronquées a été établi en adoptant une méthodologie de calcul proposé par [5] et dont les résultats étaient satisfaisants. Cette technique de calcul peut être s'opérer en deux étapes :

- 1) la première étape vise à calculer les flux en substituant les valeurs de débits supérieurs à  $6Q_m$  dans l'équation de régression tronquée.
- 2) la deuxième étape consiste à estimer les flux en MES pour les jours où les débits étaient inférieurs à  $6Q_m$ . Cette estimation est effectuée en attribuant une valeur moyenne des concentrations (moyenne arithmétique calculée à partir des valeurs de concentrations correspondant aux débits inférieurs à  $6Q_m$ ), à tous les débits filtrés.

Cette méthodologie de calcul a été appliquée sur les données de la station d'Oued El Abtal a et la station de Sidi Aek Djilali. Les résultats issus de l'application des deux régressions couplées sur Oued El Abtal et Sidi Aek Djilali, montrent une amélioration bien nette des estimations des flux annuels et pluriannuels, au regard des régressions présentées précédemment. Cependant, la prédiction des flux de quelques années reste médiocre (eg.1993-94, pour oued El Abtal et 1998-99 pour SidiAek Djilali). Cette moins bonne précision est partiellement inhérente au fait que la contribution au flux annuels des débits inférieurs à  $6Q_m$ , durant ces années est plus importante. Toutefois les flux totaux correspondant aux périodes (1971-2002) pour Oued El Abtal et SidiAek Djilali, sont reproduits respectivement avec des erreurs de -12% et -6,54 % à partir de la somme des estimations individuelles et -12.67%, -21.43% par les estimations basées sur l'intégralité des données. Cette bonne précision notamment pour la somme des flux individuels, pourrait être partiellement liée à l'effet de compensation des erreurs entre les années.

### 1.5. Comparaison de la validité des courbes de transport dans l'estimation des flux

Au terme de cette partie concernant les courbes de transport sédimentaire, nous proposons d'effectuer une analyse comparative de la pertinence des différentes techniques appliquées pour l'estimation des flux annuels. Pour cela, nous avons retenu trois méthodes appliquées sur les données des deux stations : Oued El Abtal et Sidi Aek Djilali vu que ces deux stations contrôlent des sous bassins qui sont responsables sur le transport solide dans le bassin de l'oued Mina, en effet la station d'oued Abtal contrôle le 5/6 du bassin de l'oued Mina soit plus de 5000km<sup>2</sup> ainsi que la station de Sidi Aek Djilali contrôle une zone marneuse d'environ 500km<sup>2</sup> :

- 1)-les courbes de transport «  $\log Q_s = b \log Q + \log a$  » représentant l'intégralité des données : méthode M1.
- 2)-les courbes de transport tronquées : méthode M2.
- 3)-les relations entre les flux annuels et les débits annuels, et les coefficients « Four » : méthode M3.

Cette dernière technique(M3) prend en compte à la fois la variabilité des débits, qui à elle seule ne permet pas de retranscrire les variations des flux de sédiments (notamment à plus long terme), mais également celle des précipitations à travers l'indice « Four ».

#### a - La station d'Oued El Abtal

Nous avons présenté plus haut les flux estimés à partir de la méthode M1 appliquée à quelques années présentant des conditions hydrologiques différentes et aussi sur la période totale. Ainsi, dans cette partie, les flux en MES prédits et corrigés par les méthodes de Ferguson et Duan, et les erreurs associées à la technique M1, effectuée sur l'intégralité des années. Les flux déterminés à partir de la méthode M2 ont été aussi calculés. Pour la méthode M3, une régression multiple basée sur la méthode des moindres carrés a été effectuée en tenant en compte des flux annuels mesuré comme variables dépendante et le débit et l'indice Four comme variables indépendantes (variables explicatives).L'équation de régression obtenue est alors appliquée pour prédire les flux annuels sur la période d'étude. Le coefficient de corrélation obtenu est 0.81, traduisant la bonne relation entre le flux prédit et les variables explicatives sélectionnées.

La méthode qui semble suivre au mieux les variations des flux est la méthode M2. La méthode M3, estime les flux de manière globale au travers du débit moyen annuel et de l'indice « Four », il semble donc que l'équation de régression ne parvienne pas à prendre en compte la dynamique du transfert sédimentaire (saisonnalité du transport solide), en outre, les valeurs des erreurs calculées sont très élevées en particulier pour l'année 1984/1985 (Année à faible transport de sédiments). Les flux de sédiments sont généralement sous-estimés pour les années de fort et faible transport, alors que les années de moyen transport, montrent une forte tendance à la surestimation (eg.1985-86,1993-94).

#### b - La station de Sidi Aek Djilali

Les autres techniques de calcul que celles utilisées pour la station d'Oued Abtal ont été effectuées sur les données de S.A. Djilali. Comme, nous l'avons déjà constaté pour la station d'oued Abtal, la méthode M2 semble apporter d'importantes améliorations par rapport à la méthode M1. La dynamique et la variabilité des flux sont bien reproduites sur les années d'étude. Cependant, la méthode M3 semble prise à défaut, sur l'année 1999-00(année de faible transport), où l'erreur est très importante. De même, les flux de sédiments sont généralement sous-estimés pour les années de fort et faible transport, alors que les années de moyen transport, montrent une forte tendance à la surestimation (eg.1989-90,1996-97). Sur l'ensemble du sous bassin, les erreurs sur les flux reproduits restent importantes, ceci peut être s'expliquer par le fait que, l'oued Haddad à la station de Sidi Aek Djilali reste responsable de la forte dynamique sédimentaire à l'oued Mina (région marneuse).

## Conclusion

Ces études, bien que sur de long terme, montrent la nécessité d'acquérir des données supplémentaires, continues et précises, pour permettre une meilleure compréhension des cycles d'apport de MES et pouvoir modéliser finement les relations concentrations en MES =  $f(Q)$ .

Les transports en suspension de l'oued Mina et de ses affluents présentent des variations spatio-temporelles considérables. Elles seraient dues au régime pluviométrique, au couvert végétal et à la lithologie [9]. En général, les variations saisonnières des apports solides suivent celles des apports liquides. Les valeurs maximales des apports solides, pour l'ensemble des sous bassins, sont observées en début d'automne et à la fin du printemps, cette variabilité s'explique par la variation du couvert végétal (sols nus) durant l'année et à la nature agressive des pluies d'automne (fortes intensités). Ces deux facteurs permettent aux premières crues d'automne de transporter des quantités importantes de sédiments (Plus de 80%) après une longue saison sèche caractérisée par de fortes températures et par la destruction des agrégats du sol ([12]; [9]).

Enfin, les phénomènes érosifs, conditionnés par les crues, leurs impacts notamment sur les barrages peuvent être considérable. Une bonne gestion de ces réservoirs au cours des crues et une mise en place de dispositifs pour empêcher ces sédiments de s'accumuler s'avère indispensable pour limiter l'alluvionnement très rapide.

Nous pensons que les résultats obtenus, doivent être améliorés en augmentant la taille des séries de données disponibles et au fur et à mesure que de nouvelles techniques de mesure et d'analyse apparaissent.

## Références

- [1] D.E., Webb, D.W. The reliability of suspended sediment load data. Erosion and sediment transport measurement, Proceedings of the Florence Symposium, June 1981, IAHS Publ. No. 133.
- [2] Walling, D.E. The sediment yields of African rivers. I.A.H.S. Publ., Harare Symp, 1984, 144, pp 265-283.
- [3] FERGUSON, R.I.. River loads underestimated by rating curves. Water Resources Research N° 22, pp 74-76, 1986.
- [4] Moatar F. and Meybeck M. Compared performances of different algorithms for estimating annual nutrient loads discharged by the eutrophic river Loire. *Hydrological Processes*, 2005, 19, 429-444.
- [5] Coynel A. Érosion mécanique des sols et transferts géochimiques dans le bassin Adour- Garonne. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 2005.
- [6] Mano, V.. Processus fondamentaux conditionnant les apports de sédiments fins dans les retenues - optimisation des méthodes de mesure et modélisation statistique – Thèse de doctorat. Université Joseph-Fourier – Grenoble, 2008.
- [7] Moatar F., Person G., Meybeck M., Coynel A., Etcheber H. et Crouzet PH. The influence of contrasting suspended particulate matter transport regimes on the bias and precision of flux estimates. *Science of the Total Environment* 370: 2006, pp 515-531.
- [8] Dubreuil, P., Guiscafre, J. La planification du réseau hydrométrique minimal. Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie, 1971, vol. VIII, n°2, pp 3-38.
- [9] Meddi, M., 1992. Hydro-pluviométrie et transport solide dans le bassin-versant de l'Oued Mina (Algérie). Thèse de doctorat UniQ, université Louis Pasteur, Strasbourg, France.
- [10] Kouri, L. L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Mina. Etude des processus et type de fonctionnement des ravins dans la zone des marnes tertiaires. Ph.D. Thèse, Louis Pasteur Université, Strasbourg, 1993, France.
- [11] Mahieddine, M. Quantification et variabilité parcellaire sous simulation de pluie dans le bassin versant de l'Oued Mina. Mémoire de Magister, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques, 1997, Alger.
- [12] Demmak, a. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-ingénieur, 1982, Paris.

## **Analyse de la variabilité annuelle et inter-annuelle des précipitations et des débits du bassin de Tensift (Maroc) par la méthode des ondelettes**

Z. Zamrane<sup>1,3</sup>, B. Laignel<sup>2</sup>, I. Turki<sup>2</sup>, N. Laftouhi<sup>1</sup>, G.Mahé<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Science Semlalia Marrakech, Lab. GEOHYD, BP 2390 Marrakech 40000 Maroc

z.zamrane@gmail.com, laftouhi@gmail.com

<sup>2</sup>UMR CNRS 6143 Continental and Coastal Morphodynamics 'M2C' Université de Rouen, 76821 Mont-Saint-Aignan Cedex, France. benoit.laignel@univ-rouen.fr et imen.turki.rouen@gmail.com

<sup>3</sup>HSM, Université de Montpellier France gilmahe@hotmail.com

### **Résumé**

*L'analyse en ondelettes est utilisée pour identifier les principaux modes de variabilité des précipitations et des débits au niveau du bassin du Tensift et de ses principaux sous-bassins. Cette analyse montre pour les pluies et les débits l'existence de plusieurs groupes d'énergie, de l'échelle annuelle l'inter-annuelle. Les principales bandes d'énergies identifiées au niveau du bassin sont : les bandes de 1 an, 2-4 ans, 4 - 8 ans et 8-12 ans.*

*L'analyse de la cohérence par ondelettes montre une forte cohérence entre la NAO/précipitations et la NAO/débits. Certaines discontinuités sont observées vers la fin des années 1980, 1990 et 2000.*

**Mots clés :** l'analyse par ondelettes, NAO, cohérence, bassin du Tensift, pluie, débit, Maroc

## **Analysis of the annual and interannual variability of precipitation and streamflow in the Tensift basin (Morocco) by the wavelet method**

### **Abstract**

*The wavelet analysis is used to identify the main modes of variability of precipitation and streamflow in the Tensift basin and its sub-basins. This analysis shows for the rainfall and the streamflows the existence of several energy groups from the annual to the inter-annual. The main energy bands identified at the Tensift basin level : 1 year, 2-4 years, 4 - 8 years and 8-12 years bands.*

*The analysis of coherence wavelet shows a strong coherence between the NAO / rainfall and the NAO / streamflow, Some discontinuities are observed in the late of 1980s, 1990s and 2000s..*

**Key Words :** wavelet analysis, NAO, coherence, Tensift basin, rain, flow, Morocco



Le Maroc est actuellement dans la période sèche la plus longue de son histoire moderne, caractérisée par une diminution des précipitations et une nette tendance à la hausse des températures. Le climat au cours de la période 1961-2004 a montré une augmentation significative de la fréquence des sécheresses, de leur gravité et de leur étendue spatiale. Cette sécheresse et le réchauffement posent des défis pour les différents secteurs socio- économiques. La complexité de ces impacts est due à la diversité des secteurs qui utilisent l'eau pour la production de biens et services du pays [1].

Les conditions climatiques de la région Tensift-Haouz (zone d'étude) sont celles du climat continental semi-aride, caractérisé par des contrastes pluies saisonnières souvent concentrés dans les périodes d'automne et d'hiver, rares et irrégulières le reste de l'année. La sécheresse prend une ampleur considérable, en particulier dans les zones de plaine où la température et l'évaporation sont importantes.

## I. Zone d'étude

Depuis sa source à Ras El Ain jusqu'à son embouchure à Souiria Qdima, l'oued Tensift draine un bassin versant d'une superficie de 20450 km<sup>2</sup>. Ce large domaine continental est situé entre les latitudes 32° 10' et 30° 50' Nord et les longitudes 9° 25' et 7° 25' Ouest.

Il est limité au Sud par la ligne de crête de la chaîne du Haut Atlas, au Nord par le massif de petite montagne nommé « Jbilet » avec des altitudes inférieures à 1 000 m. A l'Est, il est limité par la ligne de partage des eaux, peu marquée, séparant le bassin du Tensift de celui du Tessaout, affluent d'Oum Er R'bia et est limité à l'Ouest par l'océan Atlantique où se situe son exutoire. Les altitudes sont donc très contrastées, varient de 0 m au niveau de son exutoire à 4 167 m au Jbel Toubkal.

Situé dans le Centre-ouest du Maroc, le bassin du Tensift se situe entre les latitudes 32°10' et 30°50' Nord et les longitudes 9°25' et 7°25' Ouest. Il occupe une superficie d'environ 20450 km<sup>2</sup> et est limité au sud par la crête de la chaîne du Haut Atlas, au Nord par les petites montagnes nommées Jbilets, à l'Est par le fossé entre les bassins Tensift et Tessaout, et à l'Ouest par l'océan Atlantique. Altitudes comprises entre 0 m à la côte à 4167m au Jebel Toubkal dans le Haut Atlas.

Le bassin de Tensift peut être subdivisé en trois parties :

- la partie Nord (flancs sud des Jbilets) correspond à de petits bassins peu arrosés de la rive droite de l'Oued Tensift.
- la plaine centrale du Haouz, une dépression allongée Est-Ouest, traversée par la majorité des affluents de la rive gauche de l'oued Tensift. La majeure partie des terres agricoles sont localisées dans cette zone.
- la partie Sud englobe les montagnes du Haut Atlas, occupée par une succession de sous bassins constituant les affluents de la rive gauche de l'oued Tensift. Les montagnes du Haut Atlas correspondent à la zone de production des eaux de surface très active, dû aux importantes précipitations. Ses eaux prennent naissance à partir de ses reliefs, géologiquement hétérogènes à caractère torrentiel évacué vers l'océan.

## II. Méthodologie

La méthode des ondelettes continue (WCT) est utilisée pour analyser des séries temporelles non-stationnaires à différentes fréquences [2]. La WCT est conçue pour identifier et quantifier chaque caractéristique temporelle des principales composantes spectrales dans la série chronologique. La transformation en ondelettes est utilisée pour suivre l'évolution dans le temps du processus à différentes échelles dans le signal [3]. La transformation en ondelettes a été utilisée pour de nombreuses études en géosciences [4], [5], [6]. En particulier, les applications d'ondelettes sur des séries chronologiques ont identifié des signaux d'oscillation climatique [3],[7],[8]. La cohérence est analysée pour déterminer la corrélation qui peut exister entre la variabilité des paramètres hydrologiques et climatiques [9].

## III. Résultats

L'analyse par ondelettes des données de précipitation montre plusieurs bandes d'énergie, de l'échelle annuelle à des échelles interannuelles (2-4 y et 8-12 y). D'autres bandes d'énergie peuvent être vues sur les spectres écoulement d'ondelettes (2-4y, 4-8y et 8-12y) (Tableau 1 et 2)

L'analyse en ondelettes montre quelques bandes d'énergies communes entre les précipitations et les débits, mais les bandes d'énergie interannuelles sont mieux identifiées dans les débits que dans les précipitations. En particulier, à l'exception des bassins de l'Ourika et Rheraya, il existe des bandes à l'échelle annuelle commune pour les années 1980 à 1990 et des bandes communes de 8-12 y au milieu des années 1990. En comparant les précipitations et débits, une discontinuité apparaît sur toutes les stations en 2000 et d'autres en mi 1980, 1990. Pour d'autres sous-bassins, la cohérence entre les précipitations et les débits est moindre pour Ksob, N'Fis, R'Dat et Chichaoua. Elle fonctionne moins bien pour certaines périodes entre les précipitations et les débits de Tensift, Ourika et Rheraya.

Les résultats extraits de l'analyse par les ondelettes de la pluie et des débits, montrent trois discontinuités majeures : 1980, 1990 et 2000.

Tableau 1 La variation temporelle des modes de variabilité des précipitations au niveau de chaque sous bassins du Tensift

	K'sob	N'fis	Tensift	R'dat	Ourika	Chichaoua	Rheraya
1 year	Mid 1980's – 1990 1995-2000 2007-2010	1975-1980 1987 – 2000	1977 – 1980 1987 -1992 1995 – 2005	Beguinin-mid 1970's 1980-1983 Mid 1980's – mid 1990's 2008 - end	Beguinin –mid 1970's 1980-1990 Mid 1990's - end 1900 2007-end	1977-1980 1987-1992 1995 – 2000 Mid 2000's - end	Beguinin - 1975 1980 – 1990 Mid 1990's – end 1990
2-3 Years		1990-1995		1973-1975	Beguinin - 1975		
8 years	1990 – Mid 2000's	1985-2000	1990 - 2000	1990-2000		1990 - 2000	

Tableau 2 La variation temporelle des modes de variabilité du débit au niveau de chaque sous bassins du Tensift

	K'sob	N'fis	Tensift	R'dat	Ourika	Chichaoua	Rheraya
1 year	Mid 1990's -2000	1977 – 1980 1987 – 1990 1995 - 1998	Beguinin – mid 1970's 1987 – 1992 Mid 1990's 1998	1965 -1975 1990-1995	Beguinin – 1973 1979 – 1982 1990 - 1993	1977-1980 1997 – 1990 1995-1998	1970-1975 1979-1982 1990-1995
2-4 years	1995 - 1997	1987 - 1995	Beguinin – mid 1970's	1965 – 1975 1995 - 1998	1979 – 1983 Around 1990	1985-2000	Around 1975 1990-1995
4-8 years		1985 - 1990 1995 - 2000			1980 - 1990		
8 -12 years	1990 - 2000	1980 - 2005	Beguinin - 2000	19970 - 2000	Beguinin - 2000	1975-end	1978-1985

L'analyse de la cohérence des NAO (Oscillation Nord Atlantique) et la série chronologique des précipitations montrent une cohérence échelles annuelles et inter-annuelles. Des pertes de cohérence à l'échelle annuelle sont évidentes autour de 1985, 1995 et 2005. Le premier de ces pertes de cohérence chevauche la sécheresse qui a eu lieu au Maroc entre 1980 et 1985. Mahé et al. a identifié une rupture à la pluviométrie annuelle au Maroc entre 1979 et 1980. La cohérence inter-annuelle est principalement distribuée dans les bandes d'énergie de 2-4 ans, 4-8 ans, 8-12 et y. Une énergie considérable est observée entre le milieu des années 1980 et le milieu des années 1990 pour la bande 2-4 ans. La bande 8-12 est continue sur toute la période pour le bassin Ksob et est presque continue pour le bassin R'dat.

Analyse de cohérence ondelettes indique également les corrélations entre l'indice NAO et débits mensuels. Comme l'a montré pour l'analyse NAO-précipitation, la cohérence est annuelle et inter-annuelle (2-4 ans, 4-8 ans, 8-12 et y) les bandes sont évidentes, et les pertes de cohérence annuel échelle sont évidentes autour de 1985, 1995 et 2005. Toutefois, le groupe est 2-4 ans est généralement moins étendues. A l'inverse, la bande de 8 à 12 ans est continue à peu près sur toute la période d'un plus grand nombre de bassins (Chichaoua, Rheraya, N'fis, et R'dat). D'importantes discontinuités sont observées à environ 1970 et 1990 correspondent à des discontinuités mondiales observées dans les indices NAO, SOI et PDO.

## Conclusion

Dans cette étude, nous avons examiné la série de débit et de précipitation au niveau du bassin du Tensift qui fait partie des zones semi-arides qui ont été utilisées pour déterminer la variabilité inter-annuelle et leur relation avec les fluctuations climatiques. l'analyse en ondelettes peut donc, dans notre cas, d'évaluer et de décrire les liens entre la variabilité hydrologique et climatique de la NAO.

## Bibliographie

- [1] L. Stour & A. Agoumi. Sécheresse climatique au Maroc durant les dernières décennies. *Hydroécologie Appliquée*, 16 (2008) 215-232.
- [2] I. Daubechies. The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis. *IEEE Trans. Inform. Theory* 36 (1990) 961–1004.
- [3] M. Ghil, M. Allen, MD. Dettinger, K. Ide, D. Kondrashov, ME. Mann. Advanced spectral methods for climatic time series. *Rev Geophys.* (2002) 40(1):1–41.
- [4] D. Labat, R. Ababou, A. Mangin. Rainfall-runoff relations for karstic springs – Part II: continuous wavelet and discrete orthogonal multiresolution analyses. *J Hydrol*; 238 (2000) 149–78.
- [5] D. Labat. Recent advances in wavelet analyses: Part I. A review of concepts, *Journal of Hydrology* 314 (2005) 275–288.
- [6] M. Lafrenieres, M. Sharp. Wavelet analysis of inter-annual variability in the runoff regimes of glacial and nival stream catchments, Bow Lake, Alberta. *Hydrol Process* ;17 (6) (2003) 1093–118.
- [7] N. Massei, A. Durand, J. Deloffre, JP. Dupont, D. Valdes, B. Laignel. Investigating possible links between the North Atlantic Oscillation and rainfall variability in northwestern France over the past 35 years. *Journal of Geophysical Research* 11 (2007) D09121.
- [8] N. Massei, B. Laignel, J. Deloffre, J. Mesquita, A. Moyelay, R. Lafite, & A. Durant. Long-term hydrological changes of the Seine River flow (France) and their relation to the North Atlantic Oscillation over the period 1950-2008. *Int. J. Climatol.* (2009) 29,
- [9] D. Labat. Cross wavelet analyses of annual continental freshwater discharge and selected climate indices. *Journal of Hydrology*, 385(1) (2010) 269-278.

## Diagnostic de la qualité physicochimique des eaux de l'Oued K'sob – Algérie

Belkacem Merzouk <sup>1</sup>, Oussama Benselama <sup>1</sup>, Abdallah Amour <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Département Hydraulique, Univ. Mohamed Boudiaf M'sila - Algérie. E-mails : [mbelka01@yahoo.fr](mailto:mbelka01@yahoo.fr) (B. Merzouk), [benselama.oussama@gmail.com](mailto:benselama.oussama@gmail.com) (O. Benselama), [azerfaz@yahoo.fr](mailto:azerfaz@yahoo.fr) (A. Amour)

<sup>2</sup> Département Hydraulique, Université A-Mira de Béjaïa, Algérie

### Résumé

*La présente étude est une contribution à la connaissance de l'état de l'environnement de l'Oued K'sob. Elle s'intéresse à la qualité de l'eau, utilisée principalement dans l'irrigation des cultures aux bords de l'Oued et dans toute la périphérie de la ville de M'sila. L'analyse des résultats obtenus a montré l'existence d'une graduation du degré de pollution croissante de l'amont vers l'aval. La 5<sup>ème</sup> station est la plus affectée et cela en raison de quantité importante en eau usée domestique ainsi qu'au volume élevé d'effluents industriels déversés. La présence d'espèces algales en aval de l'Oued est un signe révélateur de la présence d'une pollution organique (DBO<sub>5</sub> et DCO élevées).*

**Mots clés :** Oued K'sob, qualité physicochimique, bassin versant, pollution.

### Diagnosis of the physico-chemical quality of water of the K' sob Wadi - Algeria

#### Abstract

*The present study is a contribution to the knowledge of the state of the environment of the K' sob Wadi. It's interested in quality of the water, used mainly in the irrigation of the cultures at the edges of the Wadi, and in all the periphery of Msila town.*

*The analysis of the results obtained showed the existence of a graduation of the degree of increasing pollution from the upstream towards the downstream. The 5<sup>th</sup> station is most affected and that because of significant quantity of reject wastewater (domesticates and industrial). The presence of species algales downstream from the Wadi is a revealing sign of the presence of an organic pollution (high BOD<sub>5</sub> and COD).*

**Key Words:** K'sob Wadi, physico-chemical quality, catchment, pollution.

## Introduction

L'Oued K'sob, qui constitue le principal cours d'eau du bassin versant Hodna, a fait l'objet de nombreuses études, la plus part de ces études s'intéresse beaucoup plus sur le barrage K'sob ou le bassin versant. Ces études n'ont abordé que l'aspect hydraulique qui a été réalisé principalement par la FAO [1] et la direction hydraulique de la wilaya de M'sila [2].

La présente étude est une contribution à la connaissance de l'état de l'environnement de l'Oued K'sob. Elle s'intéresse à la qualité de l'eau, utilisée principalement dans l'irrigation des cultures aux bords de l'Oued et dans toute la périphérie de la ville de M'sila.

## 1. Description de la région d'étude

### 1.1. Situation géographique

Le bassin versant de l'Oued K'sob au barrage K'sob a une superficie de 1480 km<sup>2</sup>. Il est situé au nord est de l'Algérie. Il appartient au grand bassin versant du Chott Hodna dont il occupe 41 % de la surface. L'Oued K'sob a une longueur de 1310 km et parcourt 73 km pour se jeter dans la cuvette du barrage, mis en eau en 1940 avec une capacité initiale de 29.5 Mm<sup>3</sup>. La station hydrométrique de Medjez mise en service en 1973, est située en amont du barrage. Elle contrôle une superficie de 1317 km<sup>2</sup>, soit 89 % du bassin versant de l'Oued K'sob [3]. D'après la carte géologique de M'sila, la géologie de l'Oued K'sob se présente sous trois formes: - Crétacé (marnes calcaires et grès), Pontien (marnes gréseuses et quelques conglomérats gypseux), Miocène (marnes gypseuses avec calcaires gréseux à la base) [2,4-6].

### 1.2. Le climat

Les facteurs climatiques recueillis au moyen des réseaux d'observation sont à la base de toute étude hydrologique car ils régissent l'écoulement dans un bassin versant et jouent un rôle déterminant dans le régime d'un cours d'eau [7]. La température est liée essentiellement à l'altitude mais aussi des conditions locales. Elle influe sur l'évaporation (qui réduit considérablement la lame d'eau superficielle) et avec elle favorise le déficit d'écoulement. Le vent est un facteur favorisant l'évaporation. Il transporte les couches d'air saturées près des surfaces d'eau ou des sols humides pour être remplacées par des couches d'air plus ou moins sec. L'humidité de l'air joue un rôle dans l'évaporation. Plus l'air est sec, plus est apte à absorber de l'humidité supplémentaire.

Le Hodna fait partie de la ceinture du climat méditerranéen qui présente deux saisons différentes : une saison humide et froide en hiver et une saison sèche et chaude en été.

### 1.3. Sol

Les sols du bassin du Hodna sont de nature alluvionnaires, colluvionnaires ou éoliens. On trouve quatre unités géomorphologiques, à savoir, les dépressions, les formes à matériau éolien, les glacis, les reliefs [7].

### 1.4. Réseau hydrographique

Le régime hydrologique du Hodna est lié au régime pluviométrique caractérisé par de fortes irrégularités. La majorité des cours d'eaux n'ont pas de débits pérennes, à l'exception des Oueds : K'sob, El Ham, Lougmane et Soubella alimentés par des sources et retenues (Ceds). A cela s'ajoute une multitude de petits cours d'eau (Châaba) à sec pratiquement toute l'année et qui coulent lors des chutes de pluies. Quatre Oueds seulement sont pérennes, quoique leur débit soit très faible. Le réseau hydrographique du bassin du Hodna est fortement irrégulier. Plus de 22 cours d'eau déversent dans le chott qui est largement inondé en hiver dont la profondeur peut atteindre 0,30 à 0,50 m [8].

## 2. Méthodologie et échantillonnage

Cette partie de l'étude est réalisée sur une distance de 30 km (Barrage K'sob - zone industrielle de la ville de M'sila) durant le mois d'avril 2012. Cinq stations ont été choisies pour mener ce travail. Les points de prélèvements doivent être choisis de préférence là où les variations sensibles de la qualité sont probables, ou là où il y a un usage important du cours d'eau, rejets ou arrêt de rejet ou prélèvement importants. Les déversoirs ou les lieux de faibles déversements avec des effets très localisés, doivent être généralement évités.

La station 1 est l'amont de l'Oued, elle est juste après le barrage K'sob. La station 2 est à 6 km environ, elle est caractérisée par la présence d'eaux stagnantes. La station 3 est le début de l'agglomération et l'irrigation des différentes cultures. La station 4 correspond à une densité de population élevée. La station 5 est la rencontre des effluents domestiques et industriels.

Les échantillons prélevés ont été analysés systématiquement en vue de mesurer les paramètres physicochimiques. La quantité d'eau à prélever dépend du but et de nature de l'analyse qui dépend eux-mêmes de la nature de l'eau et de son utilisation [9,10].

### 3. Résultats et discussions

#### 3.1. Oxygène dissous (O.D)

Tableau 1. Teneur en oxygène dissous dans les eaux de l'Oued

Station	S1	S2	S3	S4	S5	Norme
O. D (mg/L)	5	1.5	7	3	2.5	4 - 11
T (°C)	20	20	21	21	22	30
Oxygène de saturation (%)	55.12	16.53	78.65	33.7	28.66	60 - 125

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'environnement aqueux. Pour les stations S2 et S5, la teneur en O<sub>2</sub> dissous est inférieure à 2 mg/L, ce qui implique que la qualité de l'eau est médiocre et le taux d'oxygène est insuffisant pour la survie de la plupart des organismes. De 3 à 7 mg/L (autres stations), la concentration est bonne pour la plupart des organismes, acceptable pour les espèces de poissons d'eau chaude, faible pour les espèces de poissons d'eau froide [11].

#### 3.2. Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

Tableau 2. Teneur en DBO<sub>5</sub> dans l'eau de l'Oued

Station	S1	S2	S3	S4	S5	Norme
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	15	26	40	50	67	30

#### 3.3. Demande chimique en oxygène (DCO)

Tableau 3. Teneur en DCO dans l'eau de l'Oued

Station	S1	S2	S3	S4	S5	Norme
DCO (mg/L)	123	145	94	114	196	90

La DBO<sub>5</sub> et la DCO sont deux paramètres qui nous permettent d'évaluer d'une manière plus claire la quantité des matières organiques biodégradables et non biodégradables. On remarque que toutes les valeurs dépassent les normes de rejet.

#### 3.4. Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Tableau 4. Teneur en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans l'eau de l'Oued

Station	S1	S2	S3	S4	S5	Norme
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	21.4	69	20	11	60	50

#### 3.5. Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Tableau 5. Teneur en NO<sub>2</sub><sup>-</sup> dans l'eau de l'Oued

Station	S1	S2	S3	S4	S5	Norme
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0.35	0.4	0.69	0.29	0.99	01

On observe que les teneurs en nitrates et en nitrites sont presque normales vis-à-vis des normes.

#### 3.6. Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Tableau 6. Teneur en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dans l'eau de l'Oued

Station	S1	S2	S3	S4	S5	Norme
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	118	100	160	190	500	250

Les résultats montrent que les valeurs des sulfates sont comprises dans la fourchette de 100 à 500 mg/L. Elles sont inférieures à la norme (250 mg/L) sauf à l'aval (S5) où la valeur dépasse largement la norme ; cela pourrait être lié essentiellement au volume élevé des eaux usées domestiques et industrielles rejetés.

#### 3.7. Potentiel d'hydrogène (pH), Température (T) et Conductivité (κ)

Tableau 7. Evolution du pH, température et la conductivité dans l'eau de l'Oued

Station	S1	S2	S3	S4	S5	Norme
pH	7.8	7.78	7.81	7.78	8.08	5.5 – 8.5
T (°C)	19.5	20,0	21.5	20.6	21.2	22 - 30
κ (mS/cm)	4.82	4.90	5.00	5.06	5.50	2.8

A part la conductivité, le pH et la température sont dans la gamme des normes de rejets.

### 3.8. Matière en suspension (MES)

Tableau 8. Teneur en MES dans l'eau de l'Oued

Station	S1	S2	S3	S4	S5	Norme
MES (mg/L)	26.8	22.9	21.18	20	16	30

La teneur des matières en suspension est liée à la nature du terrain traversé et à la composition des rejets déversés. Toutes les concentrations en MES sont inférieures à 30 mg/L. Ceci est normal à cause de la période de prélèvement qui est en dehors des crues et de charriage des matières solides.

### Conclusion

Les résultats obtenus montrent que la qualité de l'eau de l'Oued est normale pour la température, pH, MES et l'oxygène dissous, et elle est médiocre et mauvaise pour la conductivité, la DBO<sub>5</sub> et la DCO.

En aval, à la 5<sup>ème</sup> station qui est une intersection des rejets domestiques et industriels, les eaux sont très polluées. La présence des algues en aval est un signe de la présence d'une pollution organique.

On constate également une dégradation de la qualité des eaux, liée au facteur climatique, et plus précisément aux crues qui entraînent une augmentation importante de la charge polluante associée principalement au transport solide, suite aux processus de ruissellement, d'érosion des sols et de remise en suspension des dépôts.

### Références

- [1] F.A.O, Etude des cultures de périmètre de Ksob, Circonscription de Constantine, Roma, 1960, pp. 241-261.
- [2] Direction d'hydraulique de wilaya de M'sila, Monographie de M'sila, 1988, pp. 26-27.
- [3] I. Touaibia, A.N. Ghenim, Estimation du biais du modèle régressif puissance "concentration – débit" : Cas du bassin versant du K'sob, Revue Scientifique et Technique, L'JEE N° 19 (2011) 116 – 126.
- [4] M. Dougha, B. Merzouk, A.A. Karek, Etablissement et évolution du réseau de contrôle de qualité des eaux souterraines dans le bassin El-Hodna, M'sila, Projet de recherche CNEPRU, Université de M'sila, Algérie, (2007-2010).
- [5] B. Merzouk, A.A. Karek, M. Dougha, Qualité des eaux souterraines du bassin EL-Hodna - Cas de la zone de M'sila, Congrès International de Photocatalyse et Environnement (CIPE), Constantine – Algérie, 6-7 Mai (2008).
- [6] B. Merzouk, A.A. Karek, M. Dougha, N. Benrabah, F. Benlamri, Qualité des eaux souterraines du bassin El-Hodna - Hammam Edalaa - M'sila, Séminaire International sur la Préservation et la Mise en Valeur de l'Ecosystème Steppique (PMVS), M'sila – Algérie, 14-16 Mars (2010).
- [7] M. Hadjeb, Aménagement et protection des milieux naturels dans la cuvette centrale de Hodna (Algérie). Thèse de doctorat, Université d'Aix Marseille I, 1998.
- [8] Agence De Bassin Algerois- Hodna – Soummam, Rapport interne sur le bassin du Hodna, 2004.
- [9] J.P. Guiraud, Microbiologie alimentaire, Paris, 1998, 36 p.
- [10] C. Cardot, Les traitements de l'eau, procédés physico-chimique et biologique, Paris, 1999.
- [11] Zip Alma-Janquiere, Aide mémoire Physicochimie, 2013.

## Déchets d'épuration des eaux usées urbaines: essai d'hygiénisation

Sakina Khallel<sup>1</sup>, Mounira Yagoubat<sup>2</sup>, Djamel Mennouche<sup>3</sup>, Bachir Bouchekima<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Bio Ressources Sahariennes. Préservation et valorisation (BRS). Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi MERBAH Ouargla, Bp 510. 30000 Ouargla. Algérie.

[Sakina\\_khallel@yahoo.fr](mailto:Sakina_khallel@yahoo.fr)

<sup>2</sup>Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi MERBAH Ouargla, Bp 510. 30000 Ouargla. Algérie.

[Mira\\_dz@live.com](mailto:Mira_dz@live.com)

<sup>3</sup>Laboratoire LENREZA. Univeristé Kasdi Merbah, Bp 510. 30000 Ouargla. Algérie.

[mennouche@gmail.com](mailto:mennouche@gmail.com)

<sup>3</sup>Laboratoire LENREZA. Univeristé Kasdi Merbah, Bp 510. 30000 Ouargla. Algérie.

[bbboubachir@gmail.com](mailto:bbboubachir@gmail.com)

### Résumé

*Les stations d'épuration produisent des boues activées représentant la part principale des résidus issus des opérations de traitements des eaux usées. Ces boues sont susceptibles de contenir des microorganismes pathogènes, des éléments traces métalliques ainsi que des micropolluants organiques. Le séchage solaire constitue une solution écologique et économique pour le traitement de ces boues avant leur valorisation.*

*L'objectif de cette étude est l'expérimentation de deux procédés de séchage solaire sur les boues urbaines de la station de Touggourt, destinées à l'épandage agricole. La qualité des boues séchées fut estimée par la détermination de paramètres physico-chimiques (éléments\* majeurs et éléments traces métalliques\* (INRAP-Tunisie) et microbiologiques (flore totale aérobie mésophile, coliformes fécaux, salmonelles et œufs d'helminthes).*

*Les résultats obtenus révèlent qu'au terme du séchage solaire par les deux précédés, l'hygiénisation est atteinte. Par ailleurs, les boues de la STEP de Touggourt présentent également une valeur agronomique importante, une teneur en ETM inférieure au seuil fixé par la réglementation.*

**Mots clés :** Boues activées, STEP Touggourt, Séchage solaire, Hygiénisation.

## Urban wastewater treatment sludge: hygienisation test

### Abstract

*Sewage treatment plants produce activated sludge representing the main share of residues from sewage treatment operations. This sludge may contain microbial pathogens, metallic trace elements and organic micropollutants. Solar drying represents an ecological and economical solution for the treatment of sludge before the valorization.*

*The objective of this study is the experimentation of two solar drying processes on the urban sludge of the station of Touggourt, intended for agricultural spreading. The quality of the dried sludge was estimated by the determination of physico-chemical parameters (major elements \* and metallic trace elements \* (INRAP-Tunisia) and microbiological (total aerobic mesophilic flora, faecal coliforms, salmonella and helminth eggs).*

*The results obtained reveal that at the end of solar drying by the two processes, hygienisation is achieved. In addition, the sludge from the Touggourt WWTP also has a significant agronomic value, with an ETM content below the threshold set by the regulations.*

**Key words:** Activated sludge, STEP Touggourt, Solar drying, Hygienisation



## Introduction

Les accroissements démographiques, économiques et urbains sont à l'origine de différentes sources de pollution environnementale. Parmi ces sources de pollution, la production d'eaux usées, souvent rejetées dans le milieu récepteur (mer, rivières, sols) sans traitement préalable [1]. Quelque soit le système d'épuration adopté, le traitement des eaux usées s'accompagne d'une production des quantités considérables de sous-produits, appelés boues d'épuration ou encore biosolides, (40 à 60 g par habitant/jour) dont il faut se débarrasser [2].

Plusieurs filières existent pour l'élimination de ces boues, mais le choix est tributaire du coût d'installation, de l'origine de boues, de la valeur du produit qui en résulte et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement. La valorisation agricole des boues après séchage fait partie des technologies vertes [3], elle contribue à la réintégration des éléments minéraux et organiques dans les sols [4]. Néanmoins, l'épandage des boues obtenues ne doit pas se faire sans s'être assuré de leur hygiénisation et de leur stabilisation.

Qu'est-ce que Hygiénisation?

Traitement thermique et chaulage (pratiqués uniquement par les grosses stations) des boues, qui permet de réduire les concentrations d'agents pathogènes présents dans les boues. Les boues sont considérées hygiénisées quant à la suite de traitements les trois types d'agents pathogènes (*Salmonella*, Entérovirus, et œufs d'Helminthes) sont non détectables (critère de conformité). De plus, les boues doivent être exemptes de phytotoxicité, avec des teneurs en métaux lourds et en micropolluants organiques inférieures aux normes internationales en vigueur [5].

La région du sud algérien au climat saharien aride, offre un bon rayonnement solaire durant toute l'année. Le séchage solaire sous serre des boues urbaines pourrait présenter dans cette région, une solution technique écologique et économique intéressante.

L'objectif de ce travail est double : concevoir et mettre en application sur site deux pilotes pour sécher les boues de la STEP de Touggourt, dans un premier temps; caractériser les boues séchées pour vérifier leur hygiénisation et déterminer si l'épandage agricole serait sans risques, dans un second temps.

## 1. Matériel et méthodes

### 1.1. Conception du dispositif expérimental de séchage

Les deux pilotes expérimentaux utilisés sont représentées sur la figure 1, ce sont des séchoirs solaires à effet de serre qui opèrent par convection naturelle. Dans le premier on a utilisé le compartiment du séchoir sans aucune modification où le produit (boue) est exposé directement au rayonnement solaire. Le deuxième mode de séchage a été réalisé à l'aide d'un capteur solaire plan à air, vitrage incliné de 45° par rapport au plan horizontal. La chambre de séchage de ce deuxième séchoir a été améliorée par rapport au premier en installant à l'intérieur un double vitrage horizontal afin d'augmenter l'intensité de l'effet de serre, mais également un échangeur où circule de l'eau chauffée par énergie solaire tout au long de la journée, est intégré pour assurer un séchage continu la nuit.



Figure 1 : Sechoir solaire directe (mode I) et capteur solaire plan connecté au séchoir solaire (mode amélioré)

### 1.2. Méthodologie de travail

L'étalement de 1167g de boue sur la claie reliée à une balance pour afficher la perte de poids (le cycle de séchage débute avec un échantillon de boues de 5 kg). La mesure du rayonnement solaire se fait par un solarimètre de type MacSolar. Le flux solaire horizontal global est mesuré en  $W/m^2$ . Les températures sont déterminées grâce aux thermocouples de type K, reliés à un appareil CHAUVIN ARNOUX C.A 1051. Ces thermocouples servent à repérer la température dans plusieurs endroits: milieu ambiant, chambre de séchage et à la sortie du capteur. La mesure de l'humidité est possible à l'aide d'un

hygromètre, de même, la mesure de l'humidité relative de l'air ambiant et de la chambre de séchage est suivie, à l'aide d'un appareil d'affichage numérique de marque CHAUVIN ARNOUX C.A 1051. La perte de masse du produit est obtenue par une balance électronique à affichage numérique, de précision 0.01g introduite dans la cellule de mesure.

Les analyses physicochimiques ont englobé les mesures de la siccité (NF EN 12880(X 33-005), la teneur en matière organique (NF EN 12879(X 33-004), le pH et CE (NF EN 12176(X 33-003), l'azote (NF EN 13342(X 33-009) et la teneur des boues en éléments majeurs et en éléments trace métalliques, tout deux réalisés au niveau de l'Institut National de Recherche et d'Analyse physicochimique (INRAP- Tunisie).

Les analyses microbiologiques ont englobé le dénombrement de la microflore totale mésophile (sur milieu solide) TTM. Le dénombrement des coliformes fécaux (méthode I680, USEPA): fermentation en tubes multiples le bouillon LTB (milieu Lauryl Tryptose Broth). La recherche des salmonelles (méthode MA-700 \_ Sal-PA 1.0): présence ou absence et finalement la recherche des œufs d'helminthes suivant la méthode de *Bailenger*, recommandée par l'OMS [1].

## 2. Résultats et discussions

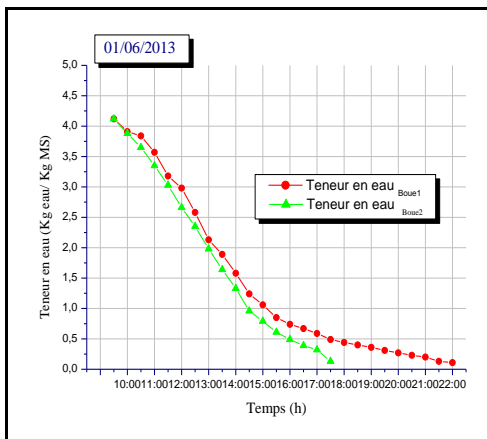


Figure 2 : Variation temporelle de la teneur en eau au cours du séchage par les deux modes

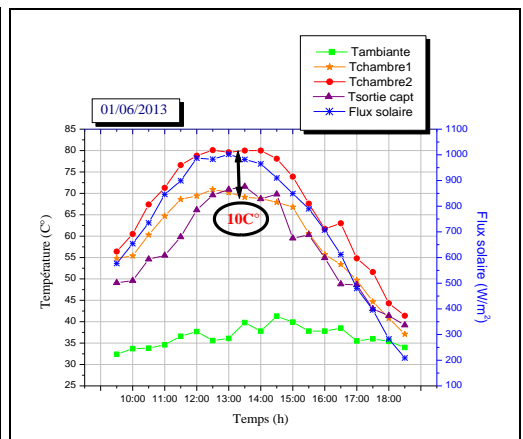


Figure 3 : Variation temporelle de la température et du rayonnement au cours du séchage par les deux modes

La teneur finale en eau est une caractéristique de chaque produit, c'est la valeur optimale pour laquelle le produit ne se détériore pas et garde ses qualités (forme, texture,...) [6]. La teneur finale en eau (mode 1) est de 0.13-0.11, obtenue au bout de 12h de séchage continu, le temps est réduit à 7h de séchage continu en mode 2, pour cette même valeur.

La température relevée dans le séchoir amélioré a atteint les 80,1°C, supérieure à celle enregistrée au sein du séchoir mode 1 (70,9°C maximum). Cet écart de température entre les deux modes, dépassant les 10°C, peut être attribué aux améliorations effectuées. On observe également une diminution de l'humidité relative de l'air ambiant au cours du séchage (minimum 10,3% - maximum de 12,8%), ainsi que de l'air intérieur dans les deux chambres de séchage (mini 10% mode 1 et 9,7% mode amélioré), sous l'effet de l'augmentation de l'énergie solaire accompagné par l'augmentation de la température ambiante.

### 2.1. Paramètres physicochimiques

L'ensemble des paramètres dosés est rapporté dans le tableau 1. La siccité renseigne sur la consistance des boues. Une siccité élevée, le cas de nos échantillons, réduit le volume de boues et facilite leur acheminement vers des sites de compostage, ce qui n'est pas autorisé avec les boues liquides [7]. Les boues de Touggourt affichent en moyenne >50 % de matières organiques, ce qui constitue un apport non négligeable pour les sols sahariens. L'ajout de matières organiques augmente l'agrégation des particules du sol [8]. et limite ainsi les pertes dues à l'érosion éolienne ou hydrique.

Les valeurs du pH des échantillons gravitent autour de la neutralité avec une tendance vers l'alcalinité. En effet, le pH peut jouer un rôle important dans le contrôle des équilibres entre l'immobilisation des métaux lourds et du phosphore. D'après les normes A.F.N.O.R [9] un intervalle de 2 à 2,5% d'azote, permet la valorisation agricole des boues. La concentration en azote, des boues séchées, fluctue entre 2,61 et 2,46 %, ces valeurs placent les boues de la STEP de Touggourt parmi les plus riches.

Le phosphore, élément majeur en fertilisation, est souvent celui qui limite les doses d'épandage pour plusieurs sols. Les résultats révèlent une richesse des boues séchées en cet élément. Le potassium, par contre fait défaut dans toutes les boues, cette pauvreté est liée à la grande solubilité des composés potassiques éliminés lors du traitement des eaux [10].

Le calcium et magnésium, leurs teneurs respectives dans les boues séchées sont de 2,7% -1%. Les études rapportent des valeurs différentes, ce qui peut être attribué aux procédés d'épuration utilisés dans différents pays [11]. La teneur des boues séchées en zinc, cuivre, nickel et le plomb, est largement inférieures à celles indiquées par l'arrêté du 08/01/1998, France [12], quant au cadmium et mercure, ils sont présents sous formes de traces.

## 2.2. Paramètres microbiologiques

Lors du séchage, le principal facteur conduisant à la réduction des micro-organismes est le couple température -temps de séjour. La boue issue du séchage en mode amélioré présente la plus faible microflore ( $1,37.10^3$  UFC/g). Ceci s'explique par l'effet bactéricide des températures élevées (70-80°C) et des taux faibles d'humidité (< 15%), obtenues par les deux modes de séchage. Pour les coliformes fécaux, les moyennes obtenues pour les deux modes sont en dessous de l'ordre de détection fixé par la législation (412,5 NPP/g MS /boue mode 1 et 312 NPP/g MS boue mode 2 < 1000 NPP/g MS). Selon Heinonen-Tanski et al. [13] la pasteurisation est efficace pour la destruction des micro-organismes entériques et de beaucoup de virus, elle permet de rendre le digestat hygiénisé. Elle doit se réaliser à au moins 70°C pendant 60 minutes.

Les salmonelles, agents pathogènes les plus susceptibles de se propager dans l'environnement par le lisier et les boues d'épuration, se développent de 6°C à 47°C. Ces pathogènes sont les plus abondants et préoccupants dans les boues d'épuration municipales [13]. Leurs concentrations dans les boues d'épuration urbaines sont de l'ordre de grandeur de  $10^2-10^3$  g<sup>-1</sup> [15]. Nos résultats ne rapportent aucune salmonelle dans les deux échantillons de boues séchées, ce qui concorde avec les travaux de Sahlström [16], qui déclare que les *Salmonella* ne survivent pas plus de 5 minutes à 70°C. Il a par ailleurs, été démontré que les salmonelles ne sont pas détectées dans les boues lorsqu'il ya moins de 1000 coliformes fécaux/g [17], nos résultats rapportent <500 CF.

Les helminthiases sont souvent associées à l'utilisation des eaux usées, des boues ou des excréta en agriculture [18]. Ces particules biologiques les plus résistantes, sont dotées de cuticule composée de plusieurs couches empêchant le passage de certaines substances (acides et bases forts, oxydants, agents réducteurs et détergents) [19]. L'absence d'œuf d'helminthes, dans les deux échantillons de boue, a été confirmée par le laboratoire de parasitologie du CHU Ibn Sina-Annaba (Algérie). En effet, les T° élevées obtenues, accroissent la perméabilité de la coquille des œufs d'*Ascaris* permettant le transport de composés néfastes et augmentant le taux de dessiccation des œufs [20].

Tableau I : Résultats d'analyses des propriétés agro-environnementales des boues séchées

Paramètres (INRAP- Tunisie)	Mode de séchage et propriétés des boues obtenues	
	Boue mode 1	Boue mode 2 (amélioré)
Siccité (%)	89%	87%
Matières organiques	60.6%	61.6%
Azote totale (% b.s)	2.61%	2.46%
P (mg/Kg)	2123,17	2059,89
Na (%)	1,08 %	1,25%
Ca (%)	2,61 %	2,76 %
Mg (%)	1,03 %	1,20 %
K (%)	0,53 %	0,56 %
Cd (mg/Kg MS)	2,18	2,07
Cu (mg/Kg MS)	87,50	88,99
Ni (mg/Kg MS)	23,46	30,26
Pb (mg/Kg MS)	64,75	68,13
Zn (mg/Kg MS)	424,64	411,98
Hg (µg/Kg MS)	345,77	341,34

## Conclusion

Notre étude s'est intéressée à suivre l'effet du séchage solaire sur l'hygiénisation des boues activées destinées à l'épandage agricole. Deux modes de séchage ont été mis au point au LENRZA. L'expérimentation a permis la réduction de la durée de séchage de 12 h à 7h pour le mode amélioré (moins d'un jour pour les 2 modes). Les résultats ont confirmés la réduction de la teneur en eau à l'intervalle 0.13-0.11 (limite retenue pour les boues), avec une température de séchage atteinte 70 et 80.1°C.

La caractérisation microbiologique effectuée sur les deux boues, permet d'avancer que le seuil d'hygiénisation a été atteint par les deux modes. Il est donc souhaitable de reconduire l'étude sur une boue industrielle dont la composition est plus complexe, et d'aller vers la conception de procédés de séchage qui valorisent l'utilisation de l'énergie solaire sur un cycle annuel de gestion des boues (surtout en hiver, où l'ensoleillement est minimal).

## Références

- [1] OMS (Organisation Mondiale de la Santé). The Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture: Health guidelines. Technical Report Series n° 778, Rapport d'un Groupe Scientifique de l'OMS: Genève (1989) 74.
- [2] L. Déléry, R. Bonnard, Bases scientifique de l'évaluation des risques sanitaires relatifs aux agents pathogènes, Conventions 03 75 C 0093 et 06 75 C0071 ADEME/ CYPREA/ FP2E/ INERIS, 2007.
- [3] A. Ademe. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture – dossier Documentaire. Ed. ADEME, 2001, 58p.
- [4] M. De Bertoldi, G. Vallini et A. Pera, The biology of composting, Review. *Waste Mngmt Res.* 1 : (1983)157-176.
- [5] Amir S., 2005. Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost, Thèse Doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, France, 312p.
- [6] M. Kouhila, A. Belghit et M. Dagueuet, Détermination Expérimentale et Théorique des Courbes de Sorption et de la Cinétique de Séchage de la Menthe Verte. *Entropie*, Vol. 37, n°233: (2001), 20 - 31.
- [7] V. Perron et M. Hébert, Caractérisation des boues d'épuration municipales – Partie I : Paramètres agronomiques. *VECTEUR environnement*, 40 (4) (2007a.), 48-52.
- [8] B.M. Wallace, M. Krzic, T.A. Forge, K. Broersma & R.F. Newman, Biosolids increase soil aggregation and protection of soil carbon five years after application on a crested wheatgrass pasture, *Journal of Environmental Quality*, 2009. 38: 291-298.
- [9] A.F.N.O.R. (Association Française de normalisation), Norme française NFU 44-041. Matière fertilisante. Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines. Déterminations et spécifications, Paris, 1985. 25p.
- [10] A. Bhi et B. Houmane, Effet de l'épandage des eaux usées traitées et des boues résiduelles sur les caractéristiques d'un sol sableux de Tunisie. *Science du sol*, Vol. 25/4 (1987), 267-278, PLAISIR-France.
- [11] Y. Grenier, La valorisation des boues d'usine d'épuration des eaux pour la fertilisation des forêts, Mémoire Ingénieur, Rech. Forest., Canada, (1989). 189p.
- [12] Arrêté du 08/01/98, FRANCE : fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées. (JO n° 26 du 31 janvier 1998).
- [13] H. Heinonen-Tanski, M. Mohaibes, P. Karinen & J. Koivunen, Methods to reduce pathogen microorganisms in manure. Departement of Environmental Sciences, University of Kuopio, Kuopio, Finland. *Livestock science*, (2006)102: 248-255.
- [14] E.A. Apedaile, Hill Chem & D.Cole, Health aspects of biosolids land application. Prepared for the City of Ottawa under the direction of the Medical Officer of Health 2002.
- [15] EC (European Commission), Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction. Final Report n° CO 5026/1, prepared for the European commission, (2001) 44p.
- [16] L. Sahlström, A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants. *Bioresource Technology*, 87: (2003), 161–166.
- [17] USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), Control of Pathogens And Vector Attraction In Sewage Sludge (Including Domestic Septage) Under 40 CFR Part 503. Environmental regulations and technology, EPA/625/R-92/013, décembre 1992, révisé en octobre 1999, Cincinnati, USA, 154 p
- [18] Bjiménez, Helminth ova control in wastewater and sludge for agricultural reuse. In W. O. K. Grabow (Ed.) *Water reuse new paradigm towards integrated water resources management in Encyclopedia of Biological, Physiological and Health Sciences, Water and Health*, vol. 2, Oxford et Paris, EOLSS Publishers Co. Ltd. UNESCO, (2009), pp 429-449.
- [19] L. Ben Ayed, Évaluation de la qualité parasitologique des eaux usées et des boues résiduelles en Tunisie. *Environnement, Risques & Santé*. Vol. 6, n° 6: (2007), 433-42.
- [20] P. G Gaspard et J. Schwartzbrod, Parasite contamination (helminth eggs) in sludge treatment plants: Definition of a sampling strategy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 206, n° 2: (2003).117-122.

## Contextualisation du Référentiel floristique pour l'utilisation des macrophytes comme bioindicateurs de l'état des cours d'eau du bassin hydraulique du sebou au Maroc.

Saad BENAMAR <sup>1,2</sup>, Abdellah MAISSOUR <sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire des Sciences Environnementales Végétales et Urbaines ; Ecole Normale Supérieure de Fès ; Université Sidi Mohamed Ben Abdellah ; B.P. 5206 Bensouda ; Fès ; Maroc.

<sup>2</sup> saad.benamar@usmba.ac.ma

<sup>3</sup> abdellah.maissour@usmba.ac.ma

### Résumé

*L'Indice Biologique Macrophytes Rivières (IBMR) est un outil d'évaluation de la qualité écologique des eaux de surface, basé sur la capacité bioindicatrice des végétaux aquatiques. En France, sa normalisation est fondée sur la liste floristique de référence comprenant 208 taxons. L'adaptation de cet indice au contexte des rivières du Bassin Hydraulique du Sebou (BHS) au Maroc a nécessité la détermination de la liste exhaustive des macrophytes locales, qui se compose de 166 taxons appartenant à 56 familles. La comparaison des deux listes a révélé le faible taux de taxons communs (10% environ), la pauvreté relative de la flore macrophytique du BHS en algues (2% vs 20%) et en bryophytes (18% vs 25%) et corrélativement sa richesse en spermaphytes (79% vs 51%). Ces résultats démontrent l'inadéquation de la norme française de l'IBMR avec les conditions du BHS et donc la nécessité de la contextualisation de la liste floristique de référence.*

**Mots clés :** Qualité écologique de l'eau, Macrophytes, bioindication, IBMR, liste de référence, Bassin Hydraulique du Sebou.

## Contextualization of the floristic reference list for the use of the macrophytes as bioindicators of the state of the rivers of the Sebou hydraulic basin in Morocco.

### Abstract

*The Biological Index Macrophytes Rivers (BIMR) is a tool for evaluation of the ecological quality of surface water, based on the bioindication capacity of the aquatic plants. In France, its standardization is founded on the floristic reference list including 208 taxa. The adaptation of this index to the context of the rivers of the Hydraulic Basin of Sebou (HBS) in Morocco required the determination of the exhaustive list of the local macrophytes, which is composed of 166 taxa belonging to 56 families. The comparison of the two lists revealed the low level of common taxa (approximately 10%), the relative poverty of the macrophytic flora of the HBS in algae (2% vs 20%) and in bryophytes (18% vs 25%) and correlatively its richness in seed-plants (79% vs 51%). These results show the inadequacy of the French standard of the IBMR with the conditions of the HBS and thus the need for the contextualization of the floristic reference list.*

**Key Words:** Ecological water quality, Macrophytes, bioindication, BIMR, reference list, Hydraulic Basin of Sebou.

## Introduction

A ce jour, les méthodes d'évaluation de la qualité des eaux pratiquées par les agences des bassins hydrauliques du Maroc sont principalement basées sur des indices physico-chimiques (pH, température, MES, DBO, DCO). Malgré leur importance incontestable, ces indices restent insuffisants car ils ne livrent qu'une description ponctuelle de la qualité physico-chimique de l'eau. L'évolution dans le temps de cette qualité nécessite donc la répétition des mesures, avec ce que cela requiert comme travail laborieux et coûts fastidieux. De plus, ces méthodes ne renseignent pas sur l'impact des variations des indices sur la qualité de l'écosystème « Eau ». Partant de ces difficultés, d'autres méthodes ont été mises en œuvre, dans plusieurs pays développés et en particulier dans le cadre de la Directive Cadre européenne sur l'EAU [1], afin de compléter les données physico-chimiques par l'utilisation de méthodes basées sur des indicateurs biologiques comme les Macrophytes. Parmi ces méthodes macrophytiques, on trouve l'IBMR (Indice Biologique Macrophytes Rivières) qui a été normalisé en France en 2003. Cette méthode, basée sur les plantes aquatiques, est en cours d'adaptation au contexte hydrobiologique marocain et en particulier au niveau du Bassin Hydraulique du Sebou (BHS). L'étape fondamentale est la détermination de la liste floristique de référence dans le contexte du BHS. Cet article présente une typologie botanique de la liste des macrophytes répertoriées et à sa comparaison avec la liste normalisée en France.

## I. Méthodologie

Les études menées en vue de l'établissement de la liste floristique de référence au niveau du BHS, ont été basées d'une part, sur la compilation, aussi exhaustive que possible, et l'interprétation des données de la littérature scientifique consacrée aux macrophytes marocaines [2-4] et d'autre part, sur des travaux de terrain et de laboratoire visant la détermination botanique des macrophytes prélevées dans 27 stations hydrologiques écologiquement représentatives du BHS (fig.1).

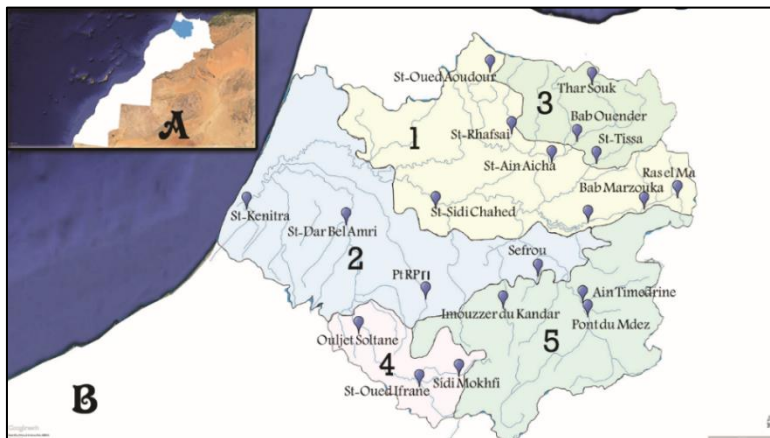


Figure 1 : Carte du Nord du Maroc indiquant la localisation A) du BHS ; B) des 20 stations hydrologiques parmi les 27 étudiées au sein du BHS. Les chiffres correspondent aux 5 éco-hydrorégions identifiées au BHS

L'ensemble des données obtenues a permis la création d'un Système de Gestion de Base de Données (SGBD) présentées sous forme de fiches d'information sur les macrophytes du BHS présentant leurs caractéristiques botaniques et écologiques ainsi que leurs photos. Ce SGBD qui a été réalisé au cours de la première phase de l'étude, puis complété par les observations de terrain, a représenté un outil efficace pour une détermination botanique aisée des espèces inventoriées.

La liste des macrophytes établie est présentée dans cet article selon plusieurs critères de typologie botanique et trophique, puis elle est comparée à la liste de référence de l'IBMR normalisée en France.

## 2. Résultats

### 2.1. Typologie botanique des macrophytes inventoriées au sein du BHS

#### 2.1.1. Divisions et familles botaniques

Les espèces macrophytes répertoriées sont inégalement réparties en quatre divisions végétales : 79% de Spermaphytes, 18% de Bryophytes et 2% d'Algues (fig.2A). Elles appartiennent à 56 Familles botaniques dont 10 comprennent plus de la

moitié des espèces : Asteraceae, Poaceae, Lamiaceae, Polygonaceae, Ricciaceae, Fabaceae, Caryophyllaceae, Apiaceae, Plantaginaceae, Brassicaceae (fig.2B).

### 2.1.2. Groupes végétaux

Les hémicryptophytes et les thérophytes constituent presque les deux tiers des Macrophytes du BHS (fig.3A). L'abondance des thérophytes peut être expliquée par la forte présence des habitats à immersion saisonnière, propices au développement de plantes annuelles à germination et croissance rapides. Les marécages semi-permanents restent favorables aux hémicryptophytes [3].

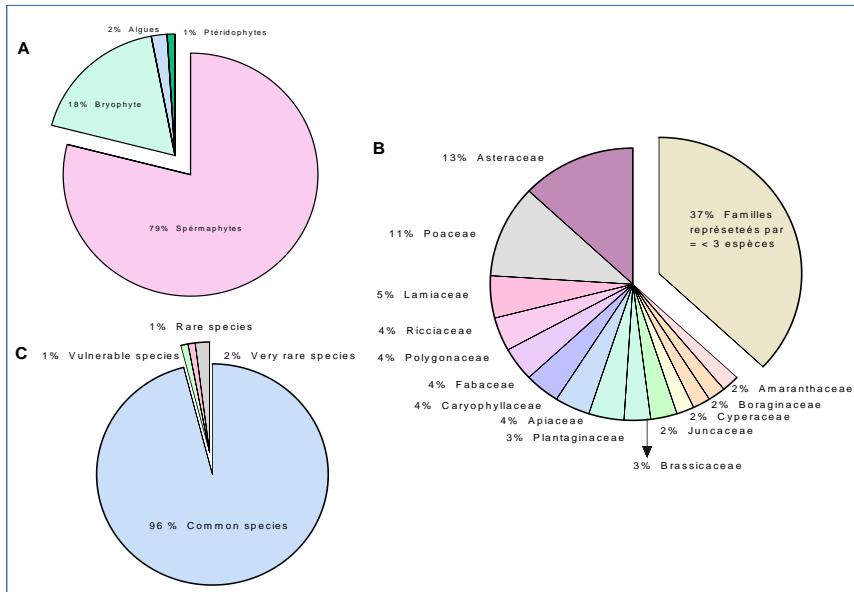


Figure 2 : Répartition des espèces macrophytes répertoriées au BHS, A) par divisions botaniques, B) par familles botaniques C) selon leur niveau d'abondance.

Comme le montre la figure 3B, le groupe végétal le plus répandu au sein des rivières du BHS est constitué de macrophytes thérophytes estivaux. Les géophytes rhizomateuses viennent en deuxième position en termes d'abondance.

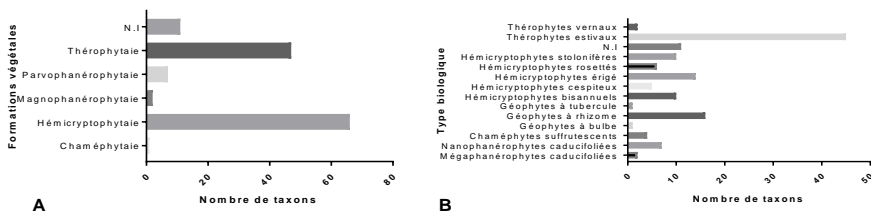


Figure 3 : A) Formations végétales des Macrophytes du BHS. B) types biologiques des macrophytes du BHS.

### 2.2. Abondance des espèces

La figure 2C montre que parmi les 166 espèces inventoriées au BHS, la plupart (96%) sont communes, alors que 3 sont très rares (*Paspalum vaginatum* Swartz, *Alisma plantago-aquatica* L., *Spartina maritima*) et deux sont rares (*Rumex palustris*, *Glinuslotoides* L.), ce qui est conforme avec de précédents travaux [3].



### 2.3. Typologie des macrophytes répertoriées au BHS en fonction de leur réponse aux conditions trophiques et chimiques du milieu

En prélude à une comparaison des résultats de l'évaluation de la qualité des eaux de rivière du BHS obtenue par l'IBMR et les descripteurs physicochimiques, une étude préliminaire a été conduite afin de classer les macrophytes du BHS selon leur exigence/tolérance vis-à-vis de deux facteurs importants du milieu, à savoir la salinité et le pH.

Tableau 1- Typologie des macrophytes selon leur tolérance/préférence de différents niveaux de nutriments, salinité et pH du milieu

Variable du m	Type de macrophytes	Nombre d	Exemples d'espèces
Nutriments	(teneur du milieu)		
	<b>Eutrophiles</b> (excessive)	5	<i>Lemna gibba</i> , <i>Typha latifolia</i> , <i>Rumex conglomeratus</i>
	<b>Intermédiaires</b> (riche)	11	<i>Persicaria maculosa</i> , <i>Melilotus indicus</i> , <i>Verbena officinalis</i>
	<b>Méso à Méso-eutrophiles</b> (moyen)	11	<i>Xanthium spinosum</i> , <i>Sinapis incana</i> , <i>Hordeum marinum</i>
	<b>Hyperoligotrophiles</b> (très faibles)	2	<i>Filago pyramidata</i> et <i>Equisetum ramosissimum</i> .
Salinité	(Tolérance de la salinité)		
	<b>Glycophytes</b> (très faible)	48	<i>Cyperus longus</i> , <i>Lythrum junceum</i> , <i>Anacyclus clavatus</i> .
	<b>Hyperhalines</b> (forte)	2	<i>Spartina maritima</i> et <i>Zostera marina</i> .
pH	(pH toléré)		
	<b>Acidoclines</b> (acide)	1	<i>Lythrum acutangulum</i>
	<b>Hyperbasophiles</b> (hyperbasique)	1	<i>Zostera marina</i>
	<b>Neutrophiles</b> (neutre)	31	<i>Senecio doria</i> , <i>Anchusa azurea</i> , <i>Tamarix canariensis</i> [5]

Selon leurs exigences trophiques, on distingue des macrophytes Eutrophiles, Intermédiaires, Mésotrophiles à Mésoeutrophiles et Hyperoligotrophiles. Le tableau 1 montre que la forte proportion des macrophytes est constituée des espèces Intermédiaires et Mésotrophiles à Mésoeutrophiles. Parmi les Macrophytes, la plupart ne supportent pas la salinité du milieu mais quelques espèces sont hyperhalines (tableau 1). Les Macrophytes ont une tolérance variable à l'acidité du milieu ; elles peuvent être acidoclines, hyperbasophiles ou neutrophiles. Le tableau 1 montre que la forte proportion des macrophytes de BHS est constituée des espèces Neutrophiles.

### 2.4. Comparaison de la liste des macrophytes du BHS et la liste de référence de la norme française

La comparaison de la liste établie au BHS et la liste de référence française, comprenant 166 et 208 taxons respectivement, a révélé le faible taux de taxons communs (environ 10% de la liste du BHS) ; Il en ressort également la pauvreté relative de la flore macrophytique du BHS en algues (2% vs 20%) et en bryophytes (18% vs 25%) et corrélativement sa richesse en spermaphytes (79% vs 51%).

### Conclusion

La liste exhaustive des macrophytes du BHS que nous avons établie représente une référence indispensable et une étape cruciale en vue de l'utilisation de l'IBMR pour l'évaluation de la qualité de ses eaux de rivières. En plus de leur importance d'un point de vue botanique et écologique, les résultats obtenus démontrent l'inadéquation de la norme française de l'IBMR avec les conditions du BHS et donc la nécessité de la contextualisation de la liste floristique de référence. Pour un calcul fiable de l'IBMR et son adaptation au contexte du BHS, il est indispensable de travailler davantage sur les exigences écologiques et la faculté bioindicatrice des espèces.

### Références

- [1] Européenne, U., Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. J Off Comm Europ, 2000: p. 0001-73.
- [2] Hammada, S. and J.M.a.-K.M. al-'Ilmi, Catalogue de la flore des zones humides du Maroc: Bryophytes, Ptéridophytes et Spermaphytes. 2002: Institut Scientifique.
- [3] Hammada, S., et al., Analyse de la biodiversité floristique des zones humides du Maroc. Flore rare, menacée et halophile. Acta Bot. Malacitana, 2004. 29: p. 43-66.
- [4] Ahayoun, K., et al., Inventaire des Bryophytes de l'Herbier "RAB" de l'Institut Scientifique (Rabat, Maroc). 2007: Rabat : Institut Scientifique, Université Mohammed V - Agdal.
- [5] Julve, P., Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. Institut Catholique de Lille, Lille, 1998

## MODELISATION D'INFILTRATION A TRAVERS UN BARRAGE EN TERRE

FERHATI Ahmed<sup>1</sup>, MITICHE-KETTAB Ratiba<sup>2</sup>, DJAFER KHODJA Hakim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doctorant ENP <sup>2</sup> Professeur ENP LRS.Eau mitiche\_rdz@yahoo.fr. <sup>3</sup> Doctorant USTO

### Résumé

*La modélisation des écoulements en milieux poreux à travers les massifs comme dans le cas d'un barrage en terre ; fait appelle au code de calcul (PLAXIS) qui offre la possibilité de modélisation de différentes structures, notamment en terre vue qu'il prend en charge la pression interstitielle due à l'écoulement souterrain et le calcul des déformations plastiques. La base de calcul de PLAXIS sont les relationnelles décrivant l'écoulement de l'eau dans la zone non-saturée obtenues par la combinaison de deux équations fondamentales : l'équation de Darcy généralisée et l'équation de continuité.*

**Mots clés :** milieux poreux, barrage poids, modélisation.

### Abstract

*The modeling of flow in porous media through the mass as in the case of an earth dam; calls made to the calculation code (PLAXIS) which offers the possibility of modeling different structures. Including land for it supports pore pressure due to groundwater flow and the calculation of plastic deformations; The basis of the relational PLAXIS are describing the flow of water in the non-saturated area obtained by combining two fundamental equations: Generalized Darcy equation and the continuity equation.*

**Key words:** Modeling, flow, porous media, Dam.

## Introduction

Les milieux poreux sont omniprésents autour de nous, qu'ils soient naturels comme le sable, l'argile, les roches, les os, ou manufacturés comme les bétons, les ciments, la céramique, etc. Leur importance dans les problèmes environnementaux et industriels a motivé et motive encore aujourd'hui de nombreuses études sur leurs propriétés afin de mieux prévoir leur comportement. Dans notre cas d'étude, nous avons fait la modélisation des écoulements en milieux poreux à travers les massifs comme dans le cas d'un barrage en terre. La construction d'ouvrages en terre, tels que remblais et barrages, sur des sols mous devient de plus en plus nécessaire. Le développement industriel et l'utilisation étendue des remblais dans divers secteurs de la construction conduisent à la raréfaction de sites constructibles et de bonne qualité géotechnique. Si l'on ajoute à cela le fait que les sols mous regroupent à des degrés variables plusieurs variétés de sols (vases, tourbes et argiles), largement répandues dans le monde et notamment dans les vallées, on comprend l'utilisation fréquente de ce type de sols comme sols de fondations d'ouvrages en terre. Ainsi, dans le cadre des grands aménagements hydrauliques ou hydroélectriques ou de contrôle des crues, on prévoit de construire un nombre croissant de digues et de barrages en terre dans des zones de sols compressibles.

## 1. Matériel et méthodes

### 2.1 Présentation de code de calcul PLXIS

#### 2.1.1 Présentation de code de calcul PLAXIS

Le code de calcul par éléments finis PLAXIS a été développé en premier lieu à l'Université Technologique de Delft (TUD) en 1987. Dans les années suivantes, ce code initialement réalisé pour analyser les digues en sols mous (argileux), a vu un champ d'application se développer largement afin de pouvoir traiter différents types de problèmes géotechniques. Il permet d'analyser des problèmes élastiques, élastoplastiques et élastoviscoplastiques en 2D ou 3D (DAT ; et al ). Le logiciel PLAXIS est un code d'éléments finis, conçu pour les applications géotechniques, C'est un logiciel qui modélise les matériaux en deux dimensions, et il présente des particularités pratiques très intéressantes. Car il permet de simuler et calculer en même temps plusieurs phénomènes. D'effectuer les calculs d'écoulement ; De simuler toutes les phases des travaux ; De prendre en compte les variations des caractéristiques des ouvrages et des couches de sols constitutionnels ; De calculer les coefficients de sécurité ; Modélisation et calcul des phénomènes de tassement et consolidation, en déterminant les pressions interstitielle.

Conclusion :

La qualité d'un modèle numérique par éléments finis se mesure par les résultats qu'il fournit. Cependant, la précision des résultats dépend de plusieurs paramètres : entre autres, le maillage, le choix des éléments, le calcul à l'ordinateur. En effet, Le choix des éléments implique le choix du degré des fonctions d'interpolation.

## 3. Résultats

### 3.1 Résultats obtenus et leurs interprétations par PLXIS

#### Introduction

Voici la présente des applications à des exemples illustrant des problèmes liés aux écoulements en milieux poreux et la consolidation à surface libre avec un cas réel de digue. Nous avons présenté la mise en œuvre des modules développés au cours du travail, par le Logiciel PLAXIS.

#### 3.1.1 Les résultats obtenus par Plaxis

Déplacements sous l'effet du poids propre de barrage

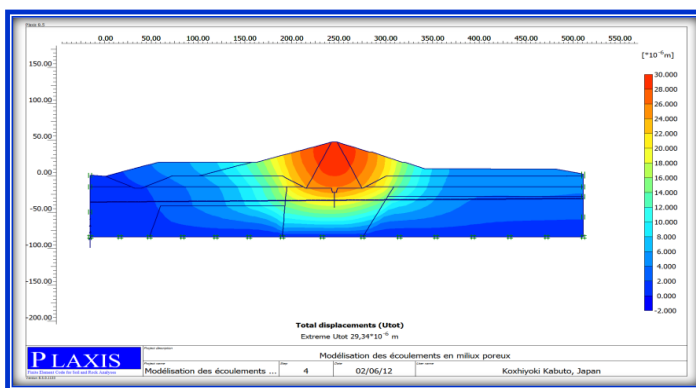


Figure1: Les différents déplacements sous l'effet du poids propre

On remarque que le tassement partiel est uniforme dans tout le corps de la digue car le calcul est fait sous poids propre de la digue.

### Calcul de stabilité de la digue du barrage (KRAMIS) :

Stabilité du talus aval cas fin de construction

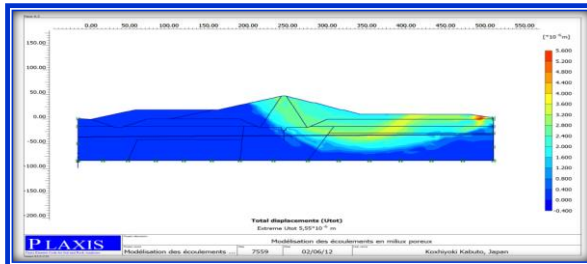


Figure.2 : Stabilité du talus aval cas fin de construction

Les calculs numériques par PLAXIS en phase finale de l'exécution du barrage donnent un coefficient de sécurité minimal  $F_s=1,67$ . ( $F_s$  : coefficient de sécurité) (Figure 2), et les résultats sont largement acceptables.  $F_{adm}=1,5$ .

### Stabilité du talus aval, au niveau normal de retenir (NNR)

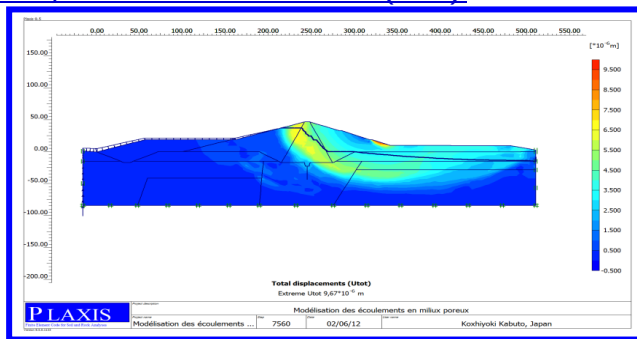


Figure 3: Stabilité en aval ou NNR (Niveau normal de retenue)

Stabilité du barrage sous les charges hydrostatique et le poids propre des matériaux constituant, (barrage plein d'eau). Les calculs numériques par PLAXIS en phase de chargement du barrage par les eaux jusqu'à un niveau normal de retenue NNR donnent un coefficient de sécurité minimal  $F_s=1,65$  (Voir Figure.3). Est les résultats sont largement acceptables.

### Stabilité du talus aval du barrage en plus haut eaux (PHE)

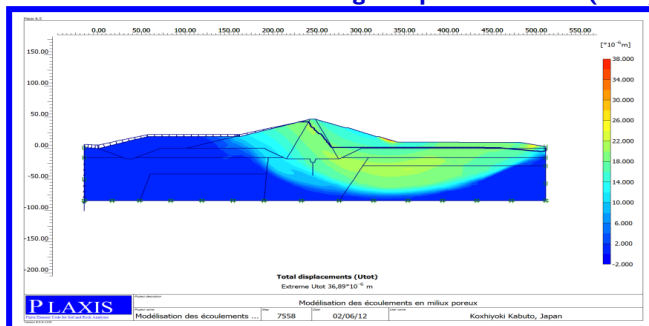


Figure.4: Stabilité en aval cas PHE (plus hautes eaux)

Dans le cas de PHE, on a obtenu un coefficient de sécurité minimal  $F_s=1,6$  (Voir figure 4), et les résultats suffisamment acceptables

## la stabilité du talus amont cas de la vidange rapide

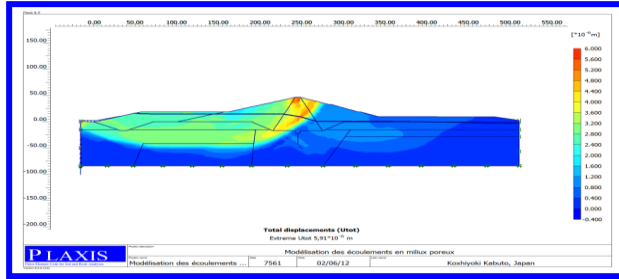


Figure.5: La stabilité du talus en amont

Dans le cas de vidange rapide, le calcul a donné un coefficient de sécurité minimal  $F_s=1.57$  (Voir figure 5).ce qui est largement acceptable.

### 3.1 .2 Résumé des résultats de calcul pour les différents cas de stabilité du talus

Stabilité de talus aval en cas de fin de construction dont  $F_s=1.67$  est acceptable

Calcul de stabilité de talus aval au (NRR)  $F_s=1.65$  est acceptable

Calcul de stabilité en aval en (PHE) dont  $F_s = F_s=1.6$  est acceptable

Calcul de stabilité en cas de la vidange rapide  $F_s = 1.57$  est acceptable

Courbe de Chargements cycliques

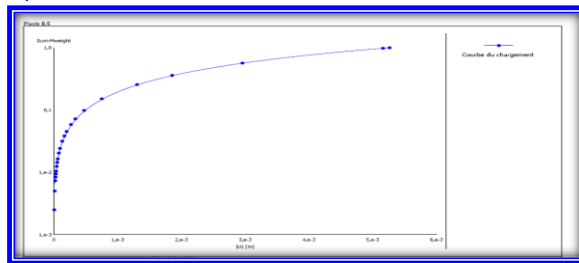


Figure.6: Chargements cycliques- en fonction des déplacements verticaux

On observe que le déplacement augmente progressivement en fonction du chargement.

## 4. Discussion et conclusions

Ce travail traite la modélisation des écoulements et de comportement mécanique et hydraulique des barrages construits en terre, nous avons défini un cadre général dans lequel peut s'inscrire le calcul de ce type de structures : le couplage de la consolidation des sols et des écoulements à surface libre. Nous avons utilisé un outil numérique du code de calculs par éléments finis PLAXIS 8.x. Dans une première étape, nous avons replacé ces deux modules de calculs dans le contexte actuel de la modélisation théorique et numérique de la consolidation des sols saturés et des écoulements à surface libre. Nous avons confronté une modélisation avons montré notamment que l'on peut conduire de bout en bout le calcul des barrages réels et obtenir des résultats encourageants tant du point de vue hydraulique que du point de vue mécanique. Nous souhaitons, en dotant le code de calculs par éléments finis PLAXIS d'outils numériques de traitement des problèmes de consolidation à surface libre des sols élastiques ou élastoplastiques isotropes ou anisotropes tenant compte de la variabilité ou non de leurs différents paramètres mécaniques et hydrauliques (indice des vides, écoulement, perméabilités, compressibilités, etc.), avoir contribué à augmenter la capacité d'analyse numérique du comportement des ouvrages en terre tels que remblais et barrages construits. De plus, grâce à une modélisation par PLAXIS qui prend en compte le phasage de la construction du remblai ainsi que celui de la mise en eau, on peut espérer l'amorce d'un dimensionnement plus précis et réaliste des barrages en terre.

## Remerciements

Les auteurs remercient monsieur le président de la conférence Pr. Mohamed Ali Ben Abdallah, et tous les membres du comité scientifique 3<sup>ème</sup> Colloque International Eau-Climat'2014. Leurs commentaires et suggestions permettent d'améliorer la qualité de ce travail.

## Référencebibliographique

- [1] BEAR J., (1972)-Dynamics of fluids in porous media.Academic Press, New York and London.
- [2] Hydrology Paper 3. Colorado St University.
- [3] Buevich U.A., Mambetov U.M. (1991)- Theory of flow simultaneous of immiscible fluids .Inzhinerno-FizicheskiiZhurnal, 60, N 1, p.98-107.
- [4] DAT- VU Khoa HUYNH -Modélisation des glissements de terrain, comme problème de Bifurcation. Institut National Polytechniques de Grenoble, thèse de doctorat, novembre 2005.
- [5] D.HUTTON (2004)-Fundamentals of FiniteElementAnalysis, Mc Graw Hill edition, 505 pages.
- [6] Hillel. D., - L'eau et le sol .Edition Eyrolles (1982).
- [7] HILLEL, D. (1998)-Environmental Soil Physics. Academic Press.
- [8] Houpeurt. A., - Mécanique des fluides dans les milieux poreux .Critiques et recherches, Edition. technip 1974
- [10] MAHFOUD. OULD-AMY., 1990., -Modélisation numérique des écoulements et des déformations dans les barrages en terre construits sur sol mous.Thèse de docteur, l'école nationale des ponts et chaussées, p12-32/49-59
- [11] Rubin.J.,-Theoretical analysis of two dimensional, transient flow of water in unsaturated and partly unsaturated soils .Proc, vol 32, pp 607-615, 1968.
- [12] Shvidler M.I. (1961)-Les équations d'écoulement diphasique dans milieux poreux avec prise en considération d'interaction entre des phases. IzvestiaAkademiiNauk SSSR.,Mekhanika,Mashinostroenie, N.1, p.31-134.
- [13] USDA (1960) -Soil classification.United States Department of Agriculture.
- [14] VAN GENUCHTEN, M. T. (1980)- A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils . Soil Science Society of America Journal, 44:892-898.

## Déchets d'épuration des eaux usées urbaines: essai d'hygiénisation

Sakina Khalfef<sup>1</sup>, Mounira Yagoubat<sup>2</sup>, Djamel Mennouche<sup>3</sup>, Bachir Bouchekima<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Bio Ressources Sahariennes. Préservation et valorisation (BRS). Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi MERBAH Ouargla, Bp 510. 30000 Ouargla. Algérie. Tel : (00213)772675056.

[Sakina\\_khalfef@yahoo.fr](mailto:Sakina_khalfef@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi MERBAH Ouargla, Bp 510. 30000 Ouargla. Algérie.

[Mira\\_dz@live.com](mailto:Mira_dz@live.com)

<sup>3</sup>Laboratoire LENREZA. Univeristé Kasdi Merbah, Bp 510. 30000 Ouargla. Algérie.

[mennouche@gmail.com](mailto:mennouche@gmail.com)

<sup>3</sup>Laboratoire LENREZA. Univeristé Kasdi Merbah, Bp 510. 30000 Ouargla. Algérie.

[bbboubachir@gmail.com](mailto:bbboubachir@gmail.com)

### Résumé

*Les stations d'épuration produisent des boues activées représentant la part principale des résidus issus des opérations de traitements des eaux usées. Ces boues sont susceptibles de contenir des microorganismes pathogènes, des éléments traces métalliques ainsi que des micropolluants organiques. Le séchage solaire constitue une solution écologique et économique pour le traitement de ces boues avant leur valorisation.*

*L'objectif de cette étude est l'expérimentation de deux procédés de séchage solaire sur les boues urbaines de la station de Touggourt, destinées à l'épandage agricole. La qualité des boues séchées fut estimée par la détermination de paramètres physico-chimiques (éléments\* majeurs et éléments traces métalliques\* (INRAP-Tunisie) et microbiologiques (flore totale aérobic mésophile, coliformes fécaux, salmonelles et œufs d'helminthes).*

*Les résultats obtenus révèlent qu'au terme du séchage solaire par les deux procédés, l'hygiénisation est atteinte. Par ailleurs, les boues de la STEP de Touggourt présentent également une valeur agronomique importante, une teneur en ETM inférieure au seuil fixé par la réglementation.*

**Mots clés :** Boues activées, STEP Touggourt, Séchage solaire, Hygiénisation.

### Urban wastewater treatment sludge: hygienisation test

#### Abstract

*Sewage treatment plants produce activated sludge representing the main share of residues from sewage treatment operations. This sludge may contain microbial pathogens, metallic trace elements and organic micropollutants. Solar drying represents an ecological and economical solution for the treatment of sludge before the valorization.*

*The objective of this study is the experimentation of two solar drying processes on the urban sludge of the station of Touggourt, intended for agricultural spreading. The quality of the dried sludge was estimated by the determination of physico-chemical parameters (major elements \* and metallic trace elements \* (INRAP-Tunisia) and microbiological (total aerobic mesophilic flora, faecal coliforms, salmonella and helminth eggs).*

*The results obtained reveal that at the end of solar drying by the two processes, hygienisation is achieved. In addition, the sludge from the Touggourt WWTP also has a significant agronomic value, with an ETM content below the threshold set by the regulations.*

**Key words:** Activated sludge, STEP Touggourt, Solar drying, Hygienisation

#### Introduction

Les accroissements démographiques, économiques et urbains sont à l'origine de différentes sources de pollution environnementale. Parmi ces sources de pollution, la production d'eaux usées, souvent rejetées



dans le milieu récepteur (mer, rivières, sols) sans traitement préalable [1]. Quelque soit le système d'épuration adopté, le traitement des eaux usées s'accompagne d'une production des quantités considérables de sous-produits, appelés boues d'épuration ou encore biosolides, (40 à 60 g par habitant/jour) dont il faut se débarrasser [2].

Plusieurs filières existent pour l'élimination de ces boues, mais le choix est tributaire du coût d'installation, de l'origine de boues, de la valeur du produit qui en résulte et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement. La valorisation agricole des boues après séchage fait partie des technologies vertes [3], elle contribue à la réintégration des éléments minéraux et organiques dans les sols [4]. Néanmoins, l'épandage des boues obtenues ne doit pas se faire sans s'être assuré de leur hygiénisation et de leur stabilisation.

Qu'est-ce que Hygiénisation?

Traitement thermique et chaulage (pratiqués uniquement par les grosses stations) des boues, qui permet de réduire les concentrations d'agents pathogènes présents dans les boues. Les boues sont considérées hygiénisées quant à la suite de traitements les trois types d'agents pathogènes (*Salmonella*, Entérovirus, et œufs d'Helminthes) sont non détectables (critère de conformité). De plus, les boues doivent être exemptes de phytotoxicité, avec des teneurs en métaux lourds et en micropolluants organiques inférieures aux normes internationales en vigueur [5].

La région du sud algérien au climat saharien aride, offre un bon rayonnement solaire durant toute l'année. Le séchage solaire sous serre des boues urbaines pourrait présenter dans cette région, une solution technique écologique et économique intéressante.

L'objectif de ce travail est double : concevoir et mettre en application sur site deux pilotes pour sécher les boues de la STEP de Touggourt, dans un premier temps; caractériser les boues séchées pour vérifier leur hygiénisation et déterminer si l'épandage agricole serait sans risques, dans un second temps.

### 3. Matériel et méthodes

#### 3.1. Conception du dispositif expérimental de séchage

Les deux pilotes expérimentaux utilisés sont représentées sur la figure 1, ce sont des séchoirs solaires à effet de serre qui opèrent par convection naturelle. Dans le premier on a utilisé le compartiment du séchoir sans aucune modification où le produit (boue) est exposé directement au rayonnement solaire. Le deuxième mode de séchage a été réalisé à l'aide d'un capteur solaire plan à air, vitrage incliné de 45° par rapport au plan horizontal. La chambre de séchage de ce deuxième séchoir a été améliorée par rapport au premier en installant à l'intérieur un double vitrage horizontal afin d'augmenter l'intensité de l'effet de serre, mais également un échangeur où circule de l'eau chauffée par énergie solaire tout au long de la journée, est intégré pour assurer un séchage continu la nuit.



Figure 1 : Séchoir solaire directe (mode I) et capteur solaire plan connecté au séchoir solaire (mode amélioré)

#### 3.2. Méthodologie de travail

L'étalement de 1167g de boue sur la claie reliée à une balance pour afficher la perte de poids (le cycle de séchage débute avec un échantillon de boues de 5 kg). La mesure du rayonnement solaire se fait par un

solarimètre de type MacSolar. Le flux solaire horizontal global est mesuré en  $W/m^2$ . Les températures sont déterminées grâce aux thermocouples de type K, reliés à un appareil CHAUVIN ARNOUX C.A 1051. Ces thermocouples servent à repérer la température dans plusieurs endroits: milieu ambiant, chambre de séchage et à la sortie du capteur. La mesure de l'humidité est possible à l'aide d'un hygromètre, de même, la mesure de l'humidité relative de l'air ambiant et de la chambre de séchage est suivie, à l'aide d'un appareil d'affichage numérique de marque CHAUVIN ARNOUX C.A 1051. La perte de masse du produit est obtenue par une balance électronique à affichage numérique, de précision 0.01g introduite dans la cellule de mesure.

Les analyses physicochimiques ont englobé les mesures de la siccité (NF EN 12880(X 33-005), la teneur en matière organique (NF EN 12879(X 33-004), le pH et CE (NF EN 12176(X 33-003), l'azote (NF EN 13342(X 33-009) et la teneur des boues en éléments majeurs et en éléments trace métalliques, tout deux réalisés au niveau de l'Institut National de Recherche et d'Analyse physicochimique (INRAP- Tunisie).

Les analyses microbiologiques ont englobé le dénombrement de la microflore totale mésophile (sur milieu solide) TTM. Le dénombrement des coliformes fécaux (méthode 1680, USEPA): fermentation en tubes multiples le bouillon LTB (milieu Lauryl Tryptose Broth). La recherche des salmonelles (méthode MA-700 \_ Sal-PA 1.0): présence ou absence et finalement la recherche des œufs d'helminthes suivant la méthode de *Baileger*, recommandée par l'OMS [1].

#### 4. Résultats et discussions

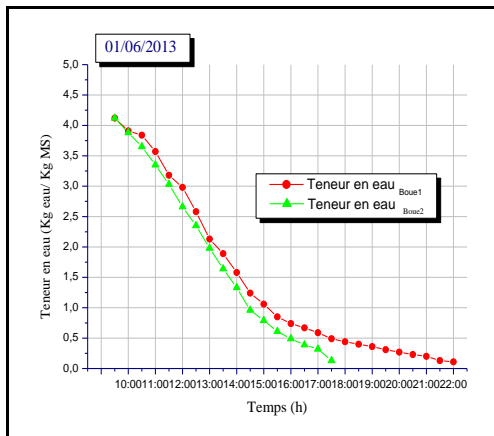


Figure 2 : Variation temporelle de la teneur en eau au cours du séchage par les deux modes

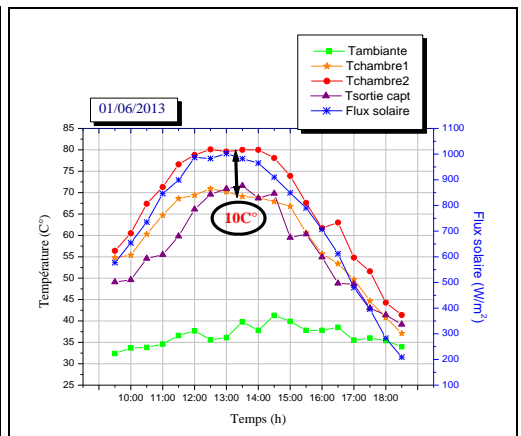


Figure 3 : Variation temporelle de la rayonnement au cours du séchage par les deux modes

La teneur finale en eau est une caractéristique de chaque produit, c'est la valeur optimale pour laquelle le produit ne se détériore pas et garde ses qualités (forme, texture,...) [6]. La teneur finale en eau (mode 1) est de 0.13-0.11, obtenue au bout de 12h de séchage continu, le temps est réduit à 7h de séchage continu en mode 2, pour cette même valeur.

La température relevée dans le séchoir amélioré a atteint les 80,1°C, supérieure à celle enregistrée au sein du séchoir mode 1 (70,9°C maximum). Cet écart de température entre les deux modes, dépassant les 10°C, peut être attribué aux améliorations effectuées. On observe également une diminution de l'humidité relative de l'air ambiant au cours du séchage (minimum 10,3% - maximum de 12,8%), ainsi que de l'air intérieur dans les deux chambres de séchage (mini 10% mode 1 et 9,7% mode amélioré), sous l'effet de l'augmentation de l'énergie solaire accompagné par l'augmentation de la température ambiante.

#### 4.1. Paramètres physicochimiques

L'ensemble des paramètres dosés est rapporté dans le tableau 1. La siccité renseigne sur la consistance des boues. Une siccité élevée, le cas de nos échantillons, réduit le volume de boues et facilite leur acheminement vers des sites de compostage, ce qui n'est pas autorisé avec les boues liquides [7]. Les boues de Touggourt affichent en moyenne >50 % de matières organiques, ce qui constitue un apport non négligeable pour les sols sahariens. L'ajout de matières organiques augmente l'agrégation des particules du sol [8]. et limite ainsi les pertes dues à l'érosion éolienne ou hydrique.

Les valeurs du pH des échantillons gravitent autour de la neutralité avec une tendance vers l'alcalinité. En effet, le pH peut jouer un rôle important dans le contrôle des équilibres entre l'immobilisation des métaux lourds et du phosphore. D'après les normes A.F.N.O.R [9] un intervalle de 2 à 2,5% d'azote, permet la valorisation agricole des boues. La concentration en azote, des boues séchées, fluctue entre 2,61 et 2,46 %, ces valeurs placent les boues de la STEP de Touggourt parmi les plus riches.

Le phosphore, élément majeur en fertilisation, est souvent celui qui limite les doses d'épandage pour plusieurs sols. Les résultats révèlent une richesse des boues séchées en cet élément. Le potassium, par contre fait défaut dans toutes les boues, cette pauvreté est liée à la grande solubilité des composés potassiques éliminés lors du traitement des eaux [10]. Le calcium et magnésium, leurs teneurs respectives dans les boues séchées sont de 2,7% -1%. Les études rapportent des valeurs différentes, ce qui peut être attribué aux procédés d'épuration utilisés dans différents pays [11].

La teneur des boues séchées en zinc, cuivre, nickel et le plomb, est largement inférieures à celles indiquées par l'arrêté du 08/01/1998, France [12], quant au cadmium et mercure, ils sont présents sous formes de traces.

#### 4.2. Paramètres microbiologiques

Lors du séchage, le principal facteur conduisant à la réduction des micro-organismes est le couple température -temps de séjour. La boue issue du séchage en mode amélioré présente la plus faible microflore ( $1,37.10^3$  UFC/g). Ceci s'explique par l'effet bactéricide des températures élevées (70-80°C) et des taux faibles d'humidité (< 15%), obtenues par les deux modes de séchage. Pour les coliformes fécaux, les moyennes obtenues pour les deux modes sont en dessous de l'ordre de détection fixé par la législation (412,5 NPP/g MS /boue mode 1 et 312 NPP/g MS boue mode 2 < 1000 NPP/g MS). Selon Heinonen-Tanski et al. [13] la pasteurisation est efficace pour la destruction des micro-organismes entériques et de beaucoup de virus, elle permet de rendre le digestat hygiénisé. Elle doit se réaliser à au moins 70°C pendant 60 minutes.

Les salmonelles, agents pathogènes les plus susceptibles de se propager dans l'environnement par le lisier et les boues d'épuration, se développent de 6°C à 47°C. Ces pathogènes sont les plus abondants et préoccupants dans les boues d'épuration municipales [13]. Leurs concentrations dans les boues d'épuration urbaines sont de l'ordre de grandeur de  $10^2$ - $10^3$  g<sup>-1</sup> [15]. Nos résultats ne rapportent aucune salmonelle dans les deux échantillons de boues séchées, ce qui concorde avec les travaux de Sahlström [16], qui déclare que les *Salmonella* ne survivent pas plus de 5 minutes à 70°C. Il a par ailleurs, été démontré que les salmonelles ne sont pas détectées dans les boues lorsqu'il ya moins de 1000 coliformes fécaux/g [17], nos résultats rapportent <500 CF.

Les helminthiases sont souvent associées à l'utilisation des eaux usées, des boues ou des excréta en agriculture [18]. Ces particules biologiques les plus résistantes, sont dotées de cuticule composée de plusieurs couches empêchant le passage de certaines substances (acides et bases forts, oxydants, agents réducteurs et détergents) [19]. L'absence d'œuf d'helminthes, dans les deux échantillons de boue, a été confirmée par le laboratoire de parasitologie du CHU Ibn Sina-Annaba (Algérie). En effet, les T° élevées obtenues, accroissent la perméabilité de la coquille des œufs d'*Ascaris* permettant le transport de composés néfastes et augmentant le taux de dessiccation des œufs [20].

Tableau I : Résultats d'analyses des propriétés agro-environnementales des boues séchées

Paramètres (INRAP- Tunisie)	Mode de séchage et propriétés des boues obtenues	
	Boue mode 1	Boue mode 2 (amélioré)
Siccité (%)	89%	87%
Matières organiques	60.6%	61.6%
Azote totale (% b.s)	2.61%	2.46%
P (mg/Kg)	2123,17	2059,89
Na (%)	1,08 %	1,25%
Ca (%)	2,61 %	2,76 %
Mg (%)	1,03 %	1,20 %
K (%)	0,53 %	0,56 %
Cd (mg/Kg MS)	2,18	2,07
Cu (mg/Kg MS)	87,50	88,99
Ni (mg/Kg MS)	23,46	30,26
Pb (mg/Kg MS)	64,75	68,13
Zn (mg/Kg MS)	424,64	411,98
Hg (µg/Kg MS)	345,77	341,34

### Conclusion

Notre étude s'est intéressée à suivre l'effet du séchage solaire sur l'hygiénisation des boues activées destinées à l'épandage agricole. Deux modes de séchage ont été mis au point au LENRZA. L'expérimentation a permis la réduction de la durée de séchage de 12 h à 7h pour le mode amélioré (moins d'un jour pour les 2 modes). Les résultats ont confirmés la réduction de la teneur en eau à l'intervalle 0.13-0.11 (limite retenue pour les boues), avec une température de séchage atteinte 70 et 80.1C°.

La caractérisation microbiologique effectuée sur les deux boues, permet d'avancer que le seuil d'hygiénisation a été atteint par les deux modes. Il est donc souhaitable de reconduire l'étude sur une boue industrielle dont la composition est plus complexe, et d'aller vers la conception de procédés de séchage qui valorisent l'utilisation de l'énergie solaire sur un cycle annuel de gestion des boues (surtout en hiver, où l'ensoleillement est minimal).

### Références

- [1]. OMS (Organisation Mondiale de la Santé). The Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture: Health guidelines. Technical Report Series n° 778, Rapport d'un Groupe Scientifique de l'OMS: Genève (1989) 74.
- [2]. L. Déléry, R. Bonnard, Bases scientifique de l'évaluation des risques sanitaires relatifs aux agents pathogènes, Conventions 03 75 C 0093 et 06 75 C0071 ADEME/ CYPREA/ FP2E/ INERIS, 2007.
- [3]. A. Ademe. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture – dossier Documentaire. Ed. ADEME, 2001,58p.
- [4]. M. De Bertoldi, G. Vallini et A. Pera, The biology of composting, Review. *Waste Mngmt Res.* 1 : (1983)157-176.
- [5]. Amir S., 2005. Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost, Thèse Doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, France, 312p.
- [6]. M. Kouhila, A. Belghit et M. Daguénet, Détermination Expérimentale et Théorique des Courbes de Sorption et de la Cinétique de Séchage de la Menthe Verte. *Entropie*, Vol. 37, n°233: (2001), 20 - 31.
- [7]. V. Perron et M. Hébert, Caractérisation des boues d'épuration municipales – Partie I : Paramètres agronomiques. *VECTEUR environnement*, 40 (4) (2007a.), 48-52.

- [8]. B.M. Wallace, M. Krzic, T.A. Forge, K. Broersma & R.F. Newman, Biosolids increase soil aggregation and protection of soil carbon five years after application on a crested wheatgrass pasture, *Journal of Environmental Quality*, 2009. 38: 291-298.
- [9]. A.F.N.O.R. (Association Française de normalisation), Norme française NFU 44-041. Matière fertilisante. Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines. Déterminations et spécifications, Paris, 1985. 25p.
- [10]. A. Bahri et B. Houmane, Effet de l'épandage des eaux usées traitées et des boues résiduelles sur les caractéristiques d'un sol sableux de Tunisie. *Science du sol*, Vol. 25/4 (1987), 267-278, PLAISIR-France.
- [11]. Y. Grenier, La valorisation des boues d'usine d'épuration des eaux pour la fertilisation des forêts, Mémoire Ingénieur, Rech. Forest., Canada, (1989). 189p.
- [12]. Arrêté du 08/01/98, FRANCE : fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées. (JO n° 26 du 31 janvier 1998).
- [13]. H. Heinonen-Tanski, M. Mohaibes, P. Karinen & J. Koivunen, Methods to reduce pathogen microorganisms in manure. Departement of Environmental Sciences, University of Kuopio, Kuopio, Finland. *Livestock science*, (2006)102: 248-255.
- [14]. E.A. Apedaile, Hill Chem & D.Cole, Health aspects of biosolids land application. Prepared for the City of Ottawa under the direction of the Medical Officer of Health 2002.
- [15]. EC (European Commission), Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction. Final Report n° CO 5026/1, prepared for the European commission, (2001) 44p.
- [16]. L. Sahlström, A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants. *Bioresource Technology*, 87: (2003), 161-166.
- [17] USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), Control of Pathogens And Vector Attraction In Sewage Sludge (Including Domestic Septage) Under 40 CFR Part 503. Environmental regulations and technology, EPA/625/R-92/013, décembre 1992, révisé en octobre 1999, Cincinnati, USA, 154 p
- [18]. B.Jiménez, Helminth ova control in wastewater and sludge for agricultural reuse. In W. O. K. Grabow (Ed.) *Water reuse new paradigm towards integrated water resources management in Encyclopedia of Biological, Physiological and Health Sciences, Water and Health*, vol. 2, Oxford et Paris, EOLSS Publishers Co. Ltd. UNESCO, (2009), pp 429-449.
- [19]. L. Ben Ayed, Évaluation de la qualité parasitologique des eaux usées et des boues résiduelles en Tunisie. *Environnement, Risques & Santé*. Vol. 6, n° 6: (2007), 433-42.
- [20]. P. G Gaspard et J. Schwartzbrod, Parasite contamination (helminth eggs) in sludge treatment plants: Definition of a sampling strategy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 206, n° 2: (2003).117-122.





*Colloque International*

*Ressources en Eau et Changement Climatique en Région Méditerranéenne*

*Eau - Climat'2014*

*Hammamet 21,22 et 23 Octobre 2014*

## Sommaire

# Eaux de Surface en Région Méditerranéenne

**Bouid Touati** (Univ. Constantine - Algérie)

*Gestion de l'eau en Algérie : entre rareté de la ressource et diversification des modes de mobilisation.*

**Jean-Pierre Montroi** (IRD - France), Nizinski J.J., Zaghoul A., Ali R, Saber M.

*Optimisation de l'utilisation des ressources en eau exemple de l'orangeaie d'El-Salam, Nord Sinaï, Egypte.*

**Belaribi Fatima Zohra, Amine Mokheffi** (Univ. Abou Bakr Belkaid - Algérie), N. Bessouh

*La gestion des ressources en eau en Algérie : enjeux et perspectives.*

**Farès Nini** (Univ. Constantine - Algérie)

*L'amélioration des conditions hydrauliques dans les Grands Périmètres d'irrigation (G.P.I.) du Nord Est Algérien.*

**Kheira Ahmane** (Faculté de droit d'Oran - Algérie), Kettab A., Bennaçar N.

*La gestion déléguée des services publics de l'eau et de l'assainissement en Algérie: Aspects légaux et expé réussies.*

**Zouhir Boulgueraguer** (Univ. Badji Mokhtar - Algérie), Chaffai H., Djorfi S., Lakaichi A., Bahrou  
*Contribution à la gestion intégrée des ressources en eau dans le sous bassin versant amont de l'oued bous*

**Lamyaa Kacem** (Univ. Marrakech - Maroc), Agoussine M., Igmoullan H., Mokhtari S.

*Evaluation de la qualité microbiologique des ressources en eaux dans une zone montagneuse rurale, la H vallée de Tifnout (haut Atlas marocain).*

**Mohammed Machkor** (Univ. Moulay Ismail - Maroc), Lahcen MESSAOUDI

*Diagnostic et actions menées sur les eaux de retenue de barrages au Maroc pour lutter contre le phénor d'eutrophisation.*

**Abdelghani Boudhar** (Univ. Sultan Moulay Slimane - Maroc), Lahoucine H., Boulet G., Outaleb  
Arioua A., Ben Kebbour B., Hakkani B.

*Etude de l'influence du couvert nival sur les eaux de surface du bassin versant d'Oum Er Rbia au Maroc*

**Taufik Hermassi** (INRGREF - Tunisie)

*Modélisation Hydro-sédimentaire à l'échelle de la parcelle.*

**Hallouz Feiza** (ENSH - Algérie), Meddi M., Mahé G.

*Calcul des flux par les méthodes de :  $\log(C)=f \log(Q)$  et  $\log(QS)=f \log(Q)$ , relations tronquées et comparai validité de ces courbes de transport dans l'estimation des flux*

**Zieneb Zamrane** (Faculty de Science Semlalia Marrakech-Maroc), B. Laignel, I. Turki, N. Laftou  
G.Mahé

*Analyse de la variabilité annuelle et inter-annuelle des précipitations et des débits du bassin de Tensift (M la méthode des ondelettes*

**Belkacem Merzouk** (Univ. Mohamed Boudiaf M'sila - Algérie), Benslemaa O., Amour A.

*Diagnostic de la qualité physicochimique des eaux de l'oued k'sob - Algérie.*

**Sakina Khallef** (Univ. Kasdi Merbah - Algérie), Yagoubat M., Menouche D., Bouchkima B.

*Déchets d'épuration des eaux usées urbaines : Essai d'hygiénisation*

**Saad Benammar** (LSEVU - Maroc), Maïssour Abdellah

*Contextualisation du référentiel floristique pour l'utilisation des macrophytes comme bio indicateurs de l'ét cours d'eau du bassin hydraulique du Sebou au Maroc*

**Ahmed Ferhati** (ENP - Algérie), Mitchite Kettab R., Djafer K H

*Modélisation d'infiltration à travers un barrage en terre.*

**Sakina Khallef**, Mounira Yagoubat, Djamel Menouche, Bachir Bouchekima

*Déchets d'épuration des eaux usées urbaines: essai d'hygiénisation.*

