

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



MEMOIRE DE MASTER EN HYDRAULIQUE

Présenté par
MEFTI Mohamed El Amine

Réutilisation des eaux épurées dans l'irrigation

Proposé par : Mr : Y.MOULOUDI

Dirigé par : Mr : Y.MOULOUDI

Promotion 2015

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents qui m'ont toujours soutenue tout au long de ma formation scolaire et universitaire à qui je serais éternellement reconnaissant.

Que dieu puisse leur accorder longue vie afin qu'ils puissent trouver en moi toute gratitude et l'attention voulue.

Mes chers frères Oussama et Salah

Mes chers amis Abd el Salam, Farouk et Fateh

Mes camarades de la promotion 2014/2015

Remerciements

Cette thèse n'aurait jamais vu le jour sans l'aide de Dieu, le tout puissant, pour m'avoir donné la santé, le courage, la patience, la volonté et la force nécessaires, pour venir à bout de toutes les difficultés que j'ai dû croiser tout au long de mon chemin d'étude.

Je souhaite exprimer mon plus profond remerciement à mon promoteur Mr.Mouloudi, pour son suivi au quotidien, pour ses conseils, son travail constructif.

Enfin, cordialement, je remercie l'ensemble de mes professeurs du département hydraulique à l'école nationale polytechnique :

المخلص :

الهدف من هذا العمل هو دراسة إمكانية إعادة استخدام مياه الصرف الصحي في مجال الري الزراعي، عن طريق معالجة أمثلة حية وتطبيقية ، ونحاول أيضا تقييم نوعية المياه المعاد استخدامها لتلبية الاحتياجات الزراعية والمحاصيل المروية وأنظمة الري الداخلة في هذا السياق.

الكلمات المفتاحية : مياه الصرف الصحي ، الري ، محطة معالجة المياه، الزراعة.

Résumé :

Le but visé par ce travail est l'étude de la possibilité de réutilisé les eaux usées dans le domaine de l'irrigation agricole, en traitant des exemples concrets et pratique, et en essayant d'évaluer la qualité des eaux réutilisés pour des besoins agricole, ainsi les cultures à irrigué et les systèmes d'irrigations misent en jeu dans ce contexte.

Mot clé : eaux usée, irrigation, station d'épuration, culture.

Abstract:

The target of this work is to study the possibility of reused wastewater in the field of agricultural irrigation, by treating concrete and practical examples, and we try to evaluate some wastewater quality after treatment to use it in the field cited above, and we do some crops picking to pick the culture watered by this water, and the problems of irrigation systems clogging.

Keyword: waste water, irrigation, water treatment plant, culture.

Table des matières

INTRODUCTION	1
Chapitre I : Utilisation des eaux usées dans l'irrigation dans les pays de la méditerranée	
1 Généralités	2
2 Occupation des terres agricoles	2
3 Etude comparative de l'utilisation des eaux usées dans l'irrigation :	3
3.1 Tunisie	3
3.2 Maroc	4
3.3 Chypre	7
4 Conclusion	7
Chapitre II : Etude de la possibilité d'utilisation des eaux usées pour l'irrigation en Algérie	
1 Généralités :	8
1.1 Objectifs	8
1.2 Limites d'utilisation des eaux usées	8
2 Le besoin en utilisation des eaux usées pour l'irrigation	8
2.1 Description de la zone de Baraki	9
2.2 Description géologique de plaine de Mitidja	10
2.3 Exploitation des eaux de la nappe phréatique	10
3 Etude de la demande	11
3.1 Développement agricole dans la région	11
3.2 Type d'agriculture et demande en eau	11
4 Problématique :	12
5 Conclusion	13
Chapitre III : Evaluation de la qualité des eaux usées utilisées en agriculture	
1 Introduction	14
2 Caractéristiques chimiques et physiques des eaux usées	14
2.1 Traitement des eaux résiduaires	14
2.2 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation	15
2.2.1 Salinité	15
2.2.2 Alcalinité	17
2.2.3 Toxicité spécifique des ions	18
2.2.4 Eléments traces et métaux lourds	19
2.2.5 Fertilisants dans les eaux usées traitées	20
2.3 Critères de qualité biologique	21
2.4 Préalables à une réutilisation efficace et efficiente	22

3	IRRIGATION AVEC L'EAU USÉE TRAITÉE	22
3.1	Méthodes d'irrigation	22
3.1.1	Méthodes (traditionnelles) de surface	22
3.1.2	Méthodes d'irrigation sous pression	23
3.2	Stratégie pour protéger la santé humaine et l'environnement	25
3.3	Choix des cultures pour la protection sanitaire	26
3.3.1	Catégorie A :	26
3.3.2	Catégorie B	26
3.3.3	Catégorie C.	26
3.4	Problèmes liés aux systèmes d'irrigations	27
4	Conclusion	28
	Conclusion générale.....	29
	Références bibliographiques	

Liste des figures

Figure 1 : situation géographique de la circonscription de Baraki.....	9
Figure 2 : Image descriptive de la plaine de Mitidja	9
Figure 3 : Le lessivage des eaux usées.....	17
Figure 4 : Irrigation de surface	23
Figure 5 : Irrigation à la raie	23
Figure 6 : Irrigation par aspersion	24
Figure 7 : Irrigation par Bubbler	25
Figure 8 : Irrigation souterraine	25

Liste des tableaux

Tableau 1 : Production d'eau usagée traitée en Tunisie (Turki et Naassaoui, 1996).....	4
Tableau 2 : Estimation d'utilisation d'eau usée pour l'irrigation au Maroc (Conseil Supérieur de l'Eau, 1988, 1994)	5
Tableau 3 : les cultures appliquées dans la région de Baraki.....	11
Tableau 4 : les terres agricole de la circonscription de Baraki.....	12
Tableau 5 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985)	15
Tableau 6 : Tolérance à la salinité de quelques plantes cultivées (adapté de FAO, 1985).....	16
Tableau 7 : Tolérances relatives des plantes au bore dans l'eau d'irrigation (adapté d'Ayers, 1977).....	18
Tableau 8 : Charge maximum en éléments traces permise sur les terres agricoles en kg/ha.an (adapté de Biswas, 1987).	19
Tableau 9 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation	19
Tableau 10 : Directives de qualité microbiologique recommandée pour l'usage d'eau usée en agriculture (OMS, 1989) ¹	21

INTRODUCTION

La population de l'Algérie a augmenté considérablement et le besoin en nourriture et en eau croît continuellement. Traditionnellement, cette situation a été solutionnée en augmentant simplement l'approvisionnement en eau et/ou en développant l'agriculture. Aujourd'hui cette solution s'approche de ses limites naturelles. Dans un certain nombre de pays de cette région, la consommation réelle de l'eau s'approche rapidement des limites des ressources disponibles.

L'eau est ainsi devenue un facteur principal limitant le développement des terres agricoles et constitue un défi économique, social et politique important. Par conséquent, l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles et la gestion globale de l'eau de façon efficace et efficiente. L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones arides et semi-arides, car elle représente une source d'eau et d'engrais additionnels renouvelables et fiables. Les déchets solides sont moins utilisés et plus difficiles à être appliqués. Des précautions sont donc nécessaires à cause de la charge des boues résiduelles en métaux lourds et en œufs de parasites.

L'utilisation de l'eau usée traitée et des boues résiduelles, au-delà de leurs effets positifs, peut également avoir des impacts défavorables sur la santé publique et l'environnement, en fonction principalement des caractéristiques de l'eau épurée et des boues, du degré d'épuration, de la méthode et de l'endroit d'utilisation. La pollution du sol et des eaux souterraines et de surface est parmi les inconvénients potentiels les plus importants de l'utilisation d'eau usée traitée. Cependant, du point de vue rigoureusement scientifique, la planification rigoureuse et la gestion efficace des régimes d'irrigation ou de fertilisation peuvent réduire au minimum ces inconvénients, à un niveau dont les effets environnementaux sont insignifiants. Pour cette raison, il est important de fournir aux agriculteurs l'information requise pour les aider à améliorer la gestion de l'eau usée traitée, utilisée pour l'irrigation, et des déchets solides, servant à la fertilisation. (FAO, 2003)

CHAPITRE I

Utilisation des eaux usées dans l'irrigation dans les pays de la Méditerranée

1 Généralités

L'agriculture est le plus grand consommateur d'eau douce dans le monde, il représente à lui seul presque 70% (90% dans certains pays) de toutes les sources d'eau douce du monde entier (la FAO, 2001 ; Gleick, 2000). Comme l'eau douce devient de plus en plus rare en raison de la forte croissance démographique, du changement d'urbanisation et de climat, intérêt pour l'utilisation de l'eau usée dans l'agriculture augmentera en conséquence. Dans certains cas, l'eau usée est déjà ou deviendra la seule ressource d'eau disponible aux fermiers tout au long de l'année, notamment pendant les périodes de sécheresse (Gleick, 2000 ; Asano, 2002). Statistiquement, un dixième de la population du monde consomme une nourriture produite par irrigation à l'eau usée (Smit et Nasr, 1992). La valeur nutritive de l'eau usée représente une ressource importante aux yeux des fermiers des pays industrialisés et en voie de développement.

2 Occupation des terres agricoles

Les pays méditerranéens partagent une situation assez semblable en termes de ressources en eau et en sols, d'agriculture, d'irrigation et d'environnement. L'irrigation collective publique s'est développée après la seconde guerre mondiale, pour s'accélérer ensuite dans les années 60. La surface totale irriguée atteindrait 11,8 millions d'hectares en 2001 (selon ICID, International Commission of Irrigation and Drainage). La région a bénéficié d'important progrès technologiques en matière d'hydraulique, d'automatique, de conception des systèmes, et d'irrigation à la parcelle. Cependant, une mise en œuvre et une gestion médiocre limitent encore les attentes en termes de productivité agricole de l'eau et des sols.

De nombreuses voies restent ouvertes pour améliorer cette situation, tant sur le plan des politiques de l'eau et de l'alimentation, de la capacité de production alimentaire ou des ressources en eau.

En général, l'irrigation occupe une place importante, voir dominante dans l'agriculture de l'ensemble des pays Méditerranéen. On peut distinguer 2 groupes :

- Superficie autour de 5-6% du total de la superficie cultivable et production irriguée représentant 35-50% du total de la production agricole : Algérie, Tunisie ;
- Superficie autour de 10% voir supérieure et production représentant 50 à 60%: Espagne, Chypre, Grèce, Jordanie, Maroc et Turquie.
- Cas particulier : Egypte : 100% de l'agriculture est irriguée.

L'utilisation des eaux usées se fait - dans tous les cas - après traitement et avec des restrictions :

Elle est permise pour l'irrigation des fourrages, des cultures industrielles (coton), des forêts et des espaces verts. Elle est interdite pour l'irrigation des crudités. L'utilisation des engrais dans

Utilisation des eaux usées dans l'irrigation dans les pays de la méditerranée

les zones irriguées est systématique dans l'ensemble des pays, alors qu'elle ne l'est pas pour certains dans les terres en sec. La moyenne est de 300 kg/ha irrigué.

En matière de ressources en eau, on distingue :

- Les pays à ressources limitées : pluie moyenne inférieure à 500 mm/an et volume disponible/habitant/an inférieur à 1000 m³ : Algérie, Chypre, Egypte, Jordanie, Maroc, Tunisie ;
- Les pays à ressources assez abondantes : pluie moyenne dépassant 600 mm/an et volume disponible/habitant autour de 3000 m³ : Espagne, France, Grèce, Italie, Turquie.

3 Etude comparative de l'utilisation des eaux usée dans l'irrigation :

Les ressources non conventionnelles sont significativement disponibles en Egypte, en Grèce, en Jordanie et en Tunisie, en corrélation avec la rareté des ressources naturelles. La mobilisation des eaux est forte (plus de 75%) sauf en Algérie (50%) selon Ministère de l'Agriculture et le Développement Rural et à Chypre (33%) selon l'Institut Méditerranéen de l'Eau (IME, 2004). Dans la présente étude on prend l'exemple de trois pays de la méditerranée qui sont : la Tunisie, le Maroc et le Chypre.

3.1 Tunisie

En Tunisie, l'eau usée est reprise dans environ 45 stations de traitement d'une capacité totale de conception de 130 Mm³ par an. Plusieurs de ces stations sont situées le long de la côte afin de protéger les ressources côtières d'éviter la pollution marine. L'eau usée municipale principalement domestique (domestique environ de 82%, 12% des industries et 6% du tourisme) subit un traitement biologique secondaire. Les processus de traitement changent selon l'origine d'eau usée et les conditions locales.

Sur 44 installations de traitement, 15 sont à boues activées, 2 à lits bactériens, 6 facultatifs et 4 à bassins aérés et 17 à canaux d'oxydation. Cinq installations de traitement sont situées dans la région de Tunis, leur débit total est d'environ 60 Mm³/année d'eau traitée. Il représente 57% du besoin national, estimé à 24 Mm³ en 1995.

Cela signifie qu'en 1995, seulement 21% de l'eau usée traitée a été réutilisée. Le 8^{ème} plan national (1992 à 1996) prévoit un volume annuel d'eau usée réutilisé à 147 Mm³, cela permettra potentiellement l'irrigation de 18000 ha additionnel. En 2000, on s'attend à ce que l'eau usée réutilisée s'élève approximativement à 10% des ressources disponibles des eaux souterraines. Les projections courantes prévoient la production de 266 Mm³ d'effluents traités en 2011 (voir le tableau 1). Ces effluents seront employés pour éviter les eaux souterraines excessives extraites entraînant l'intrusion d'eau de mer dans les couches aquifères côtières. Pendant que des projets de réutilisation sont mis en application après construction des installations de traitement, dans les nouveaux projets de station traitement, la réutilisation est projetée à l'étape de conception. Actuellement les quantités d'eau traitée demeurent plus

Utilisation des eaux usées dans l'irrigation dans les pays de la méditerranée

ou moins constantes sur toute l'année, on prévoit des augmentations de volume en raison de l'augmentation de l'urbanisation, de tourisme, et du développement industriel. La réutilisation d'eau usée continuera à se développer en Tunisie, principalement pour des buts agricoles.

Tableau 1 : Production d'eau usagée traitée en Tunisie (Turki et Naassaoui, 1996)

Année	No. de WWTP	Volume d'eau usée collectée (Mm ³ /an)	Volume d'eau usée traitée (Mm ³ /an)
1995	49	125	113
2001	80	160	152
2006	100	240	216
2011	120	290	266

L'irrigation des légumes consommés crus est prohibée. Par conséquent, la majeure partie de l'eau usée reprise est employée pour irriguer des vignes, citron et d'autres arbres (olives, pêches, poires, pommes, grenades, etc...), fourrages verts (luzerne, sorgho, etc...), récoltes industrielles (coton, tabac, betterave à sucre, etc...), céréales et cours de golf (Tunis, Hammamet, Sousse, et Monastir). Quelques jardins d'hôtel à Jerba et Zarzis sont également irrigués à l'eau usée traitée.

La surveillance de la qualité physico-chimique et biologique de l'eau usée reprise et des récoltes irriguées est projetée : analyses d'un ensemble de paramètres physico-chimiques une fois par mois, des oligoéléments une fois tous les 6 mois et des œufs d'helminthe toutes les deux semaines sur des échantillons composés en 24 h etc... Dans les secteurs où des arroseuses sont utilisées, des zones-tampons doivent être créées. Le pâturage direct est interdit sur des champs irrigués à l'eau usée.

Il est intéressant de noter qu'en Tunisie, les fermiers payent l'eau usée traitée qu'ils utilisent pour irriguer leurs champs.

3.2 Maroc

Le Maroc est un pays aride à semi-aride, en dépit de l'influence de l'Océan Atlantique qui lui fournit localement des précipitations relativement abondantes. Sur 150 milliards m³ de précipitations annuelles, on estime que seulement 30 milliards de m³ sont utilisables (22 milliards de m³ rejoignent l'eau de surface et 8 milliards de m³ alimentent les aquifères). Ces ressources sont très inégalement distribuées : les bassins de captage du Sebou, de Bou Regreg et d'Oum Er Rbia représentent à eux seuls deux-tiers du potentiel hydraulique du pays (Tableau 8). Approximativement 11,5 milliards de m³ d'eau sont employés annuellement, 3,5 milliards de m³ des eaux de forages. 93% de cette eau est employé pour irriguer 1,2 million

Utilisation des eaux usées dans l'irrigation dans les pays de la méditerranée

d'ha, y compris 850.000 ha irrigués plus ou moins de manière permanente tout au long de l'année. L'irrigation par gravité prédomine avec 80% de surfaces irriguées en particulier les petites fermes. Pour les grandes fermes des équipements d'irrigation avec des eaux souterraines sont fournis, des techniques plus modernes ont été employées : arroseuses, rampes mobiles, pivots de centre et irrigation par goutte à goutte. L'eau est vendue aux fermiers à un prix entre 0,1 et 0,2 dirham par m³.

Tableau 2 : Estimation d'utilisation d'eau usée pour l'irrigation au Maroc (Conseil Supérieur de l'Eau, 1988, 1994)

Province ou Préfecture Surface irriguée	Population estimée en 1994 (milliers)	Volume estimé d'eau usée réutilisée en 1988 (Mm ³ /an)	estimée en 1994 (ha)
Marrakech	622	15	2000
Meknes	294	14	1400
Oujda	419	n.a.	1175
Fes	541	21	800
El Jadida	971	n.a.	800
Khourigba	481	4	360
Agadir	366	n.a.	310
Beni-Mellal	870	3	225
Benguerir (city)	n.a.	n.a.	95
Tétouan	537	n.a.	70
Total	5101	n.a.	7235

La plupart des villes marocaines sont équipées de système de réseaux d'assainissements unitaires (tous les effluents sont rejetés dans un même réseau). Les volumes d'eau usée collectée ont été estimés à 380 Mm³/an pour l'année 1988, 500 Mm³ en 2000 et 700 Mm³ en 2020. Pour Casablanca seul, la production annuelle d'eau usée a été estimée à 250 Mm³ en 1991, et 350 Mm³ en 2010. Cependant en dehors des 60 plus grandes villes, seulement 7 ont une installation de traitement, mais encore leur conception et exploitation sont considérées insuffisantes. Par conséquent, la majeure partie de l'eau usée produite par les villes intérieures est utilisée pour irriguer environ 7 235 ha de récoltes.

Utilisation des eaux usées dans l'irrigation dans les pays de la méditerranée

Une importante proportion de l'eau restante est déversée dans la mer (Conseil Supérieur de l'Eau, 1988, 1994). La réutilisation de l'eau usée n'est pas une issue importante pour la gestion des ressources en eau au Maroc à l'heure actuelle. Cependant, les autorités pensent que la situation peut changer dans quelques années. En raison de l'augmentation de la population urbaine 500 000 hab. /an, il est prévu une augmentation rapide de la consommation en eau potable dans les villes. Ceci exigera le transfert des ressources d'eau douce à partir d'un bassin de captage à l'autre et le remplacement de l'eau douce par l'eau usée pour l'irrigation. Le volume en eau disponible pour la réutilisation augmentera avec l'amélioration du système du réseau d'égout. Dans ces conditions la proportion d'eau usée dans la ressource globale en eau pourra être améliorée d'une manière appréciable dans quelques décennies, particulièrement si les eaux résiduaires des villes côtières sont également recyclées.

Quoique l'eau usée ne représente qu'une petite part des ressources en eau à échelle nationale, il peut cependant aider à résoudre certains problèmes locaux. Cela sera valable particulièrement pour les villes des zones arides isolées des circuits d'alimentation principaux. Ceci est également prouvé par le taux élevé de réutilisation spontanée d'eau usée dans les villes intérieures.

L'eau réutilisée est principalement une eau usée brute parfois mélangée aux eaux des oueds dans lesquels elle se déverse. Les récoltes irriguées sont principalement les fourrages verts (4 moissons de maïs par an autour de Marrakech), arbres fruitiers, céréales et produit (la culture et la vente des légumes consommables crues sont interdites).

L'amélioration des méthodes de réutilisation d'eau usée et de la qualité de l'eau réutilisée pour l'irrigation est identifiée comme essentielle. Dans des secteurs karstiques, l'infiltration de l'eau usée affecte les nappes phréatiques à des degrés différents. Le manque d'hygiène, l'inadéquation des réseaux d'assainissement et des procédés de traitement d'eau usée, sont dans la plupart du temps dans les petites villes les raisons essentielles d'un risque d'eutrophication des barrages.

La décharge de l'eau usée brute dans la mer avec des spécifications hors normes peut affecter le développement du tourisme par la dégradation de la qualité sanitaire des plages par émission d'odeurs et la dégradation du paysage. En raison de la forte migration de la population rurale vers les villes et de l'expansion démographique, un besoin d'amélioration du système se fait sentir. Un risque élevé de maladies hydriques existent au Maroc (une proportion de 25% de la population infectée est parfois annoncée).

Afin de répondre aux exigences en matière d'hygiène dans les principales villes, les programmes-cadres prévoient des études qui sont actuellement en cours de réalisation. L'établissement d'un programme-cadre national des eaux usées est une manière de généraliser cette politique sur de tout le territoire.

3.3 Chypre

En Chypre la précipitation annuelle est d'environ 500 millimètres, on estime que 80% sont perdu par évapotranspiration. La consommation globale en eau courante est de 300 Mm³/année dont presque 80% pour l'irrigation.

L'eau usée produite par les villes principales, environ 25 Mm³/année, est projeté pour être collectée en vue de l'utiliser pour l'irrigation après traitement tertiaire. Ceci permettra à l'agriculture de disposer d'une quantité d'eau égale à environ 8 à 10% de son pouvoir d'irrigation. L'agriculture à son tour laisse aux autres secteurs la quantité d'eau équivalente. Les normes temporaires liées à l'utilisation de l'effluent traité d'eau usée pour l'irrigation en Chypre sont présentées dans le tableau 9. Ils sont plus stricts que les directives d'OMS et tiennent compte des conditions spécifiques du Chypre. Ces critères sont suivis d'un recueil d'instructions afin d'assurer la meilleure application de l'effluent pour l'irrigation (Kypris, 1989). Cependant, ces critères sont dans certains cas indépendant de la philosophie du règlement de la Californie.

L'irrigation des légumes n'est pas permise. On n'admet pas l'irrigation des plantes ornementales destinées à des fins commerciaux, l'effluent ne doit contenir aucune substance s'accumulant dans les parties mangeables des récoltes et qui s'avère être toxique aux humains ou aux animaux.

4 Conclusion

La plupart des pays méditerranéens sont arides à semi arides avec des précipitations surtout saisonnières et inégalement réparties. En raison de l'augmentation rapide des besoins en irrigation et de l'approvisionnement en eau potable, les ressources d'eau conventionnelles réduites ne suffisent plus. Par conséquent, la récupération d'eaux usées pour une éventuelle réutilisation dans le domaine agricole est de plus en plus intégrée dans la planification et le développement des ressources en eau dans les pays de la région méditerranéenne. Chypre, France, Israël, Italie, Jordanie et Tunisie sont pour l'instant les seuls pays méditerranéens à avoir établi des directives nationales pour l'usage d'eaux usées recyclées. L'Espagne dispose aussi de directives régionales. L'existence d'indications et de directives est nécessaire pour la planification et l'utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation répondant aux conditions d'hygiène et sécurité. Il contribue aussi à un développement viable de paysage et à l'irrigation agricole. Les indications doivent promouvoir clairement le développement de meilleures pratiques. Il n'est pas utile de le définir dans les moindres détails mais doit tenir compte des conditions locales, spécifiques et importantes, telles que la qualité des eaux usées recyclées, le type de sol, le climat, les récoltes importantes et les pratiques agricoles locales. Le besoin de partager un raisonnement commun et les expériences communes pour développer la réutilisation d'eaux usées se fait fortement sentir des deux côtés de la Méditerranée.

CHAPITRE II

Etude de la possibilité d'utilisation des eaux usées pour l'irrigation en Algérie

1 Généralités :

L'eau est une denrée de plus en plus rare en Algérie et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée.

En Algérie, la qualité des eaux superficielles se dégrade sous l'effet des rejets de déchets urbains et industriels. La pollution risque de constituer, à court terme, un risque de pénurie d'eau accentué imposant la nécessité de protéger cette ressource contre toute altération et utilisation irrationnelle.

1.1 Objectifs

L'objectif de ce chapitre est d'étudier la possibilité d'utiliser les eaux usées en agriculture, en traitant un exemple concernant l'irrigation des plaines situées dans trois communes de la circonscription de Baraki qui sont : Sidi Moussa, Eucalyptus et Baraki. L'irrigation de ces plaines à partir de la station d'épuration de Baraki.

1.2 Limites d'utilisation des eaux usées

L'eau usée et d'autres eaux de mauvaises qualités sont importantes dans le contexte de la gestion globale des ressources en eau. En libérant des ressources d'eau douce pour l'approvisionnement domestique et d'autres usages prioritaires, la réutilisation apporte une contribution à la conservation de l'eau et de l'énergie et améliore la qualité de la vie.

L'eau usée peut avoir des résultats agronomiques positifs. D'ailleurs, les systèmes d'utilisation d'eau usée, lorsqu'ils sont correctement planifiés et contrôlés, peuvent avoir un impact environnemental et sanitaire positif, à côté de rendements agricoles accrus. Cependant, la réutilisation de l'eau usée peut également avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé publique.

2 LE BESOIN EN UTILISATION DES EAUX USÉES POUR L'IRRIGATION

L'agriculture dans la région d'Alger ne peut être pratiquée de manière réellement productive, en raison du manque flagrant d'eau dont elle souffre, que si l'irrigation est assurée de manière régulière et suffisante. L'eau utilisée pour l'irrigation agricole est actuellement prélevée dans la nappe souterraine de la Plaine de la Mitidja qui est également utilisée pour l'alimentation en eau potable.

Cette nappe est actuellement surexploitée, ce qui se traduit par une baisse continue de son niveau. La réutilisation des eaux épurées offrirait une ressource en eau d'irrigation très importante en volume et pratiquement constante au cours de l'année et permettrait de préserver les nappes souterraines pour l'alimentation en eau potable de la population. En outre, les eaux épurées contiennent des éléments nutritifs assimilables par les cultures et leur utilisation permettrait de réduire les apports d'engrais.

Etude de la possibilité d'utilisation des eaux usées pour l'irrigation en Algérie

2.1 Description de la zone de Baraki

La région de Baraki est située à environ 18 km au sud-est d'Alger et à 35 km au nord-est de Blida, ses terres agricoles situées dans la plaine de Mitidja.

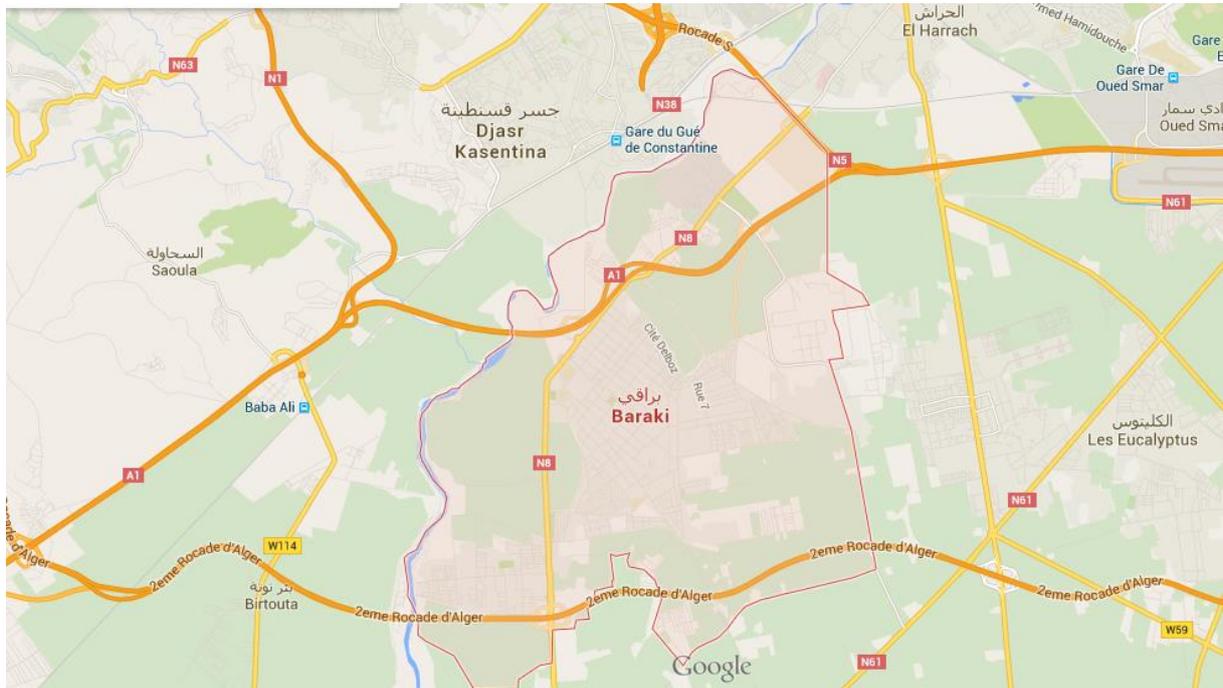


Figure 1 : situation géographique de la circonscription de Baraki

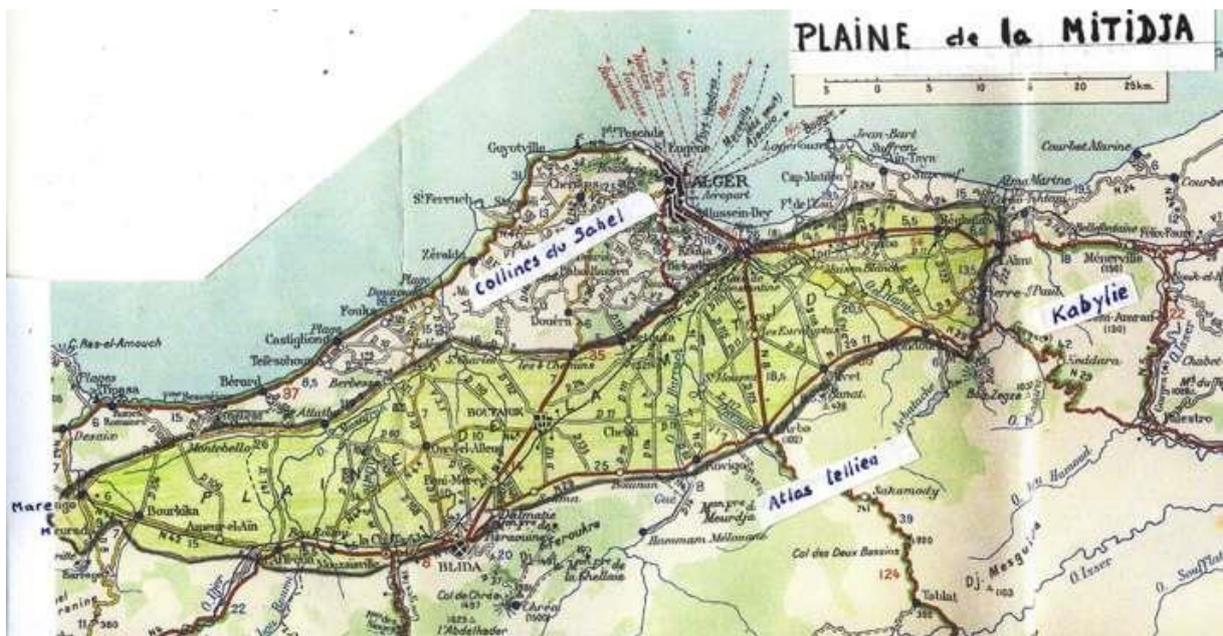


Figure 2 : Image descriptive de la plaine de Mitidja

2.2 Description géologique de plaine de Mitidja

La plaine de la Mitidja est constituée de deux entités géologiques bien distinctes :

- ✓ Le quaternaire : composé essentiellement de gravier et de sable avec des passages argileux dont l'épaisseur varie entre 100 et 160 m.
- ✓ L'astien : composé essentiellement de grès et calcaires, son épaisseur est de 150 m.

L'astien et le quaternaire sont séparés par une couche de marne d'âge plais ancien sauf à l'Est du champ de captage du Hamiz où il est en contact direct avec le quaternaire, constituant ainsi un seul aquifère.

Plusieurs champs de captage ont été créés, entre autre le champ de captage de Baraki qui se situe à 4 km environ de la STEP de Baraki.

2.3 Exploitation des eaux de la nappe phréatique

Au cours des dernières années une baisse de niveau piézométrique a été enregistrée sur tous les champs captant de la plaine de la Mitidja et ce pour les raisons suivantes :

- ✓ Sécheresse prolongée.
- ✓ Prolifération de forages illicites.
- ✓ Augmentation de la demande en eau du secteur de l'agriculture en raison de la redynamisation et la revalorisation des terres agricoles.

L'alimentation de la nappe alluviale se fait directement par les eaux de pluies et par infiltration des eaux de ruissellement des oueds là où la nappe est libre. Par l'astien, c'est grâce au phénomène de drainage au travers des marnes parfois sableuses du plais ancien qui sépare les deux nappes de la Mitidja.

L'exploitation de cette nappe se fait comme suit :

Exploitation du quaternaire : 41 forages sont actuellement en exploitation pour la production d'eau potable. Leur débit global est d'environ 70 000 m³/j. La qualité de l'eau soutirée répond aux normes de potabilité sur les plans physico-chimique et bactériologique.

Les forages destinés à l'agriculture ont un débit d'environ 5 000 m³/j.

Exploitation de l'Astien : les forages destinés à l'alimentation en eau potable produisent 100 m³/j.

Cette nappe n'est pas exploitée en raison de son facies chimique où il est enregistré une forte minéralisation en nitrates et phosphates. Ici il n'y a aucun forage destiné à l'agriculture.

3 Etude de la demande

L'étude de la demande permet d'analyser les différentes ressources de la région pour voir s'il y a un déficit en eau.

3.1 Développement agricole dans la région

La région de Baraki est caractérisée par plusieurs types d'agricultures avec une prédominance des grandes cultures en raison du manque d'eau, les agriculteurs de la région sont prêts à se reconvertir dans le cas où l'administration mettrait assez d'eau à leur disposition.

Le tableau suivant résume les différents types de cultures appliquées dans la région :

Tableau 3 : les cultures appliquées dans la région de Baraki

Type de culture	Surface (ha)	Ratio (%)	Demande en eau
Grandes cultures (céréales)	2427	38.6	0
Agrumes	1730	27.5	+++
Noyaux/Pépins (pêche, abricot....)	1178	18.7	++
Vigne	67	1	+
Culture maraîchère	890	14.2	+
Total	6292	100	-----

3.2 Type d'agriculture et demande en eau

Les capacités des pompes utilisées pour l'irrigation sont de l'ordre de 2-5 l/s. Certains fermiers disposent de réservoirs dans lesquels ils pompent l'eau et à partir desquels ils opèrent l'irrigation gravitairement. La commune dispose actuellement de 593 forages dont 273 privés et 320 publics. De ces 320 forages, 103 sont pour l'approvisionnement individuel des fermiers et les 217 restants sont utilisés collectivement. Récemment la Direction des Ressources Hydrauliques a commencé à installer des compteurs afin d'enregistrer et de suivre les consommations réelles en eau d'irrigation. Les réformes Algériennes prévoient dans l'avenir l'instauration d'un paiement de cette eau. (Subdivision Agricole de Baraki)

Stratégiquement, il sera impératif d'avoir une eau traitée qui répond aux normes d'irrigation avec un prix très abordable afin d'intéresser les utilisateurs. L'eau potable doit avoir relativement un prix élevé et strictement contrôlée.

L'estimation de la demande en eau se basera sur le fait que les 593 forages servent actuellement à l'irrigation d'une surface de 3676 ha,

La capacité de traitement quotidienne de la STEP Baraki est $Q = 146\,880 \text{ m}^3/\text{j}$. Avec cette dernière, il serait possible de fournir des eaux usées traitées pour l'irrigation d'une surface de 4 250 ha pendant une période de végétation telle que décrite ci-dessus.

Etude de la possibilité d'utilisation des eaux usées pour l'irrigation en Algérie

Il est donc à supposer que seule une fraction du débit des eaux usées total de Baraki sera traitée pour être réutilisée. Les surfaces à irriguer des trois communes sont données dans le tableau suivant :

Tableau 4 : les terres agricoles de la circonscription de Baraki

Commune	Surface totale (ST)	Surface tot. Agricole (SAT)	Surface irrigée (SI)	Taux SI/ST	Population
Baraki	3 214	1 665	522	51,7	92 561
Sidi Moussa	3 770	3 089	2 076	81,9	27 847
Eucalyptus	3 374	2 426	1 078	71,9	96 995
Total	10 358	7 180	3 676	69,3	217 403

4 Problématique :

Pourquoi les Tunisiens et les Marocains font la réutilisation des eaux usées et nous ne l'avons pas encore faite jusqu'à maintenant ?

- Manque des études de Schéma Général d'Assainissement pour la majorité des grandes villes.
- Les investissements pour l'assainissement étaient très réduits et se résument à la réalisation des collecteurs, les efforts étaient beaucoup plus dirigés vers l'Alimentation en Eau Potable.
- En 2002 aucune station d'épuration des eaux usées n'était fonctionnelle, la cause c'est qu'il n'y a pas l'exploitant spatialisé.
- Les pays voisins ont commencé à épurer les eaux usées 20 ans avant nous, dans le but de protéger leurs littorales contre la pollution, puisque l'économie de ces pays est basée sur le tourisme, donc ces pays ils ont une expérience plus que nous.
- La plus part des stations d'épuration construites avant 2010 n'ont pas intégré le traitement tertiaire, car le but des stations n'était pas dirigé vers la réutilisation mais pour des besoins d'arrêter le déversement des eaux usées dans le milieu naturel.

Entre temps la politique de l'état et du secteur hydraulique et de l'environnement ont changé la politique de réutilisation des eaux usées vers l'irrigation.

La problématique de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture, nous pousse à garder l'azote et le phosphore (N, P) au niveau des eaux usées, puisque il joue le rôle d'un fertilisant pour la plante. Mais le problème qui se pose c'est au niveau des réservoirs de stockage (Barrage, retenue collinaire) la présence beaucoup d'algues qui cause par la suite le phénomène de prolifération (Eutrophisation).

Etude de la possibilité d'utilisation des eaux usées pour l'irrigation en Algérie

La solution de ce problème est de faire passer les eaux usées pendant traitement aux étapes de (Nitrification, et Dénitrification) pour le rabattement de l'Azote et de Phosphore. Dans le cas où ces deux étapes n'existent pas au niveau de la station il est recommandé de stocker les eaux dans des réservoirs fermé c'est-à-dire à l'obscurité pour éviter l'apparition du phénomène d'Eutrophisation, qui se développe par la photosynthèse.

5 Conclusion

D'après l'étude précédente on peut conclure qu'il y a déficit en eau dans la région de Baraki. La réutilisation des eaux usées traitées est nécessaire dans cette région pour les raisons suivantes :

- ✓ Arrêt des réalisations anarchiques de forages (forages illicites).
- ✓ Arrêt du pompage continu et intensif.
- ✓ Irrigation des terres agricoles.

L'utilisation des eaux usées de la station d'épuration de Baraki présente un atout pour les agriculteurs de la région pour reconvertir en d'autre activité agricole.

En Algérie la réutilisation des eaux usées sera utilisée pour les raisons suivantes :

- ✓ Réalimentation de la nappe phréatique
- ✓ L'arrosage des jardins
- ✓ Lavage des rues
- ✓ L'irrigation
- ✓ Maintenir un débit d'étiage en été de l'Oued el Harrach

D'autre part, en cas où ses raisons auront lieu, une cellule disciplinaire composé de médecin, hydraulicien, chimiste, ingénieur agronome, formés spécialement pour le suivi de l'eau depuis la station d'épuration jusqu'à la culture irriguée avant consommation.

CHAPITRE III

Evaluation de la qualité des eaux usées utilisé en agriculture

1 INTRODUCTION

Dans le chapitre précédent on a étudié la possibilité d'utiliser les eaux usées dans l'irrigation dans la région de Baraki, dans le présent chapitre on essaie d'évaluer la qualité des eaux destinées pour l'irrigation en fonction des cultures à irriguer.

L'eau usée est unique du point de vue composition. Les constituants physiques, chimiques et biologiques qui s'y trouvent doivent être pris en considération.

2 Caractéristiques chimiques et physiques des eaux usées

Les constituants principaux qui préoccupent les agriculteurs sont :

- a. les matières solides en suspension, puisque la filtration peut être nécessaire, en particulier avec des systèmes de micro-irrigation ;
- b. les nutriments afin d'ajuster la fertilisation ;
- c. la salinité afin d'estimer la fraction de lessivage et sélectionner les cultures les mieux appropriées ;
- d. les micro-organismes pathogènes pour les mesures de précaution ;

2.1 Traitement des eaux résiduaires

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement. À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux. Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général.

Les différents degrés de traitements conventionnels sont :

- **le traitement préliminaire.** Enlèvement des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute.
- **le traitement primaire.** Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants.
- **le traitement secondaire.** Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées traitées primaires.
- **le traitement tertiaire.** Enlèvement de constituants spécifiques de l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire. Les étapes du traitement tertiaire sont le filtre à sable et le réacteur ultra-violet.

2.2 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. À cet égard, les directives générales présentées dans le tableau 5 peuvent être employées pour évaluer l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques. La procédure demeure la même qu'avec les autres types d'eaux.

2.2.1 Salinité

Dans la plupart des pays, l'eau utilisée pour l'approvisionnement municipal est l'eau ayant la meilleure qualité disponible et elle est habituellement de faible salinité. Cependant, en conditions de pénurie en eau, la salinité peut être un problème. La quantité et le type de sels présents sont importants pour évaluer si l'eau usée traitée convient pour l'irrigation.

Des problèmes potentiels sont liés à la teneur en sels totaux, au type de sel ou à la concentration excessive d'un ou plusieurs éléments (Ayers et Westcot, 1985).

Tableau 5 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985)

Problèmes Potentiels en Irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité				
EC _w ¹	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
ou TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltration				
SAR ² =0 - 3 et EC _w =	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
=3 - 6 =		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
=6 - 12 =		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
=12 - 20 =		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
=20 - 40 =		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicité Spécifique des ions				
Sodium (Na)				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Chlorure (Cl)				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Bore (B)				
	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
effets divers				
Azote (NO ₃ -N) ³	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonate (HCO ₃)	méq/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH	Gamme normale 6.5 - 8.4			

Pour surmonter le problème de la salinité au niveau de la ferme, plus d'importance doit être donnée aux approches suivantes :

a. Choisir des cultures tolérantes à la salinité de l'eau usée. Le tableau 6 peut aider les agriculteurs à choisir le système de culture le plus approprié en fonction de la salinité de l'eau usée et de la tolérance des cultures en sels. Avec une salinité inférieure à 3 dS/m et une bonne gestion, la plupart des fruits et des légumes peuvent être produits. Lorsque la salinité

Evaluation de la qualité des eaux usées utilisées en agriculture

augmente, le choix des cultures devient difficile et, excepté certains légumes, le choix est la plupart du temps limité aux fourrages verts.

Tableau 6 : Tolérance à la salinité de quelques plantes cultivées (adapté de FAO, 1985)

Conductivité électrique de l'eau d'irrigation (dS/m, et mg/l)*					
<2 <1280	2-3 1280-1920	3-4 1920-2560	4-5 2560-3200	5-7 3200-4480	>7 >4480
Citrus	Figues	Sorgho	Soja	Carthame	Coton
Pommes	Olives**	Arachide	Palmier dattier***	Blé	Orge
Pêche	Brocoli	Riz	Phalaris aquatique	Betterave sucrière	Agropyre
Raisins	Tomates	Betteraves	Trèfle	Rye Grass	
Fraise	Concombre	Fétuque	Artichauts	Orge des rats	
Pommes de terre	Cantaloup			Chiendent pied de poule	
Poivrons	Pastèques			Sudax (sorgho hybride)	
Carottes	Epinards				
Oignons	Vesce commune				
Haricot	Sorgho du Soudan				
Maïs	Luzerne				

b. Choisir un système d'irrigation permettant une application uniforme de l'eau, une efficacité élevée et offrant la possibilité d'irriguer fréquemment. Avec les systèmes d'irrigation pressurisés, en particulier avec les systèmes goutte-à-goutte et mini sprinklers, le niveau admissible de salinité des cultures irriguées peut être plus élevé. Avec de tels systèmes, les directives concernant la tolérance à la salinité des cultures (Maas, 1974) sont seulement des évaluations sommaires. De meilleurs rendements peuvent être obtenus avec ces niveaux critiques lorsqu'on emploie de façon appropriée les systèmes d'irrigation modernes (Goldberg et al. 1971 ; Papadopoulos et al. 1987).

c. Le lessivage est une pratique régulièrement utilisée par les agriculteurs mais n'est probablement pas la meilleure solution en cas de pénurie d'eau, de drainage insuffisant ou de nappe peu profonde. A long terme, la quantité totale de sels appliquée dans le sol avec les eaux usées (sel 'in') et la quantité de sels éliminée par lessivage et prélevée par les cultures, (sel 'out') devraient être approximativement identiques. La sélection de l'assolement cultural et la gestion efficace de l'eau usée en irrigation interviennent de façon importante dans l'élimination des sels (Papadopoulos, 1991). Les cultures extractrices de sels qui ont une valeur économique comme le sudax (sorgho hybride) et le sorgho donnent de bons résultats. Il est recommandé de cultiver des cultures consommatrices de sels chaque année ou périodiquement.

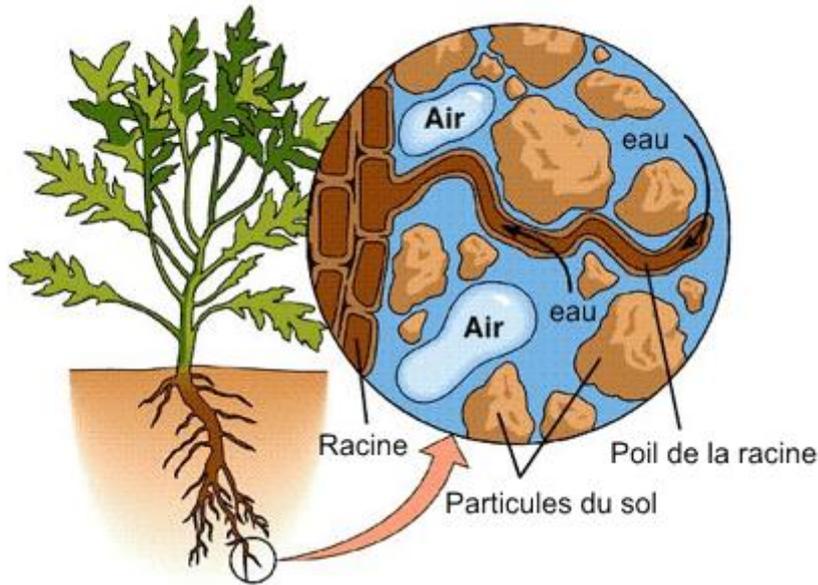


Figure 3 : Le lessivage des eaux usées

2.2.2 Alcalinité

La dispersion de la phase colloïdale du sol, la stabilité des agrégats, la structure du sol et la perméabilité à l'eau sont toutes très sensibles aux types d'ions échangeables présents dans l'eau d'irrigation. L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na, réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu. Ce phénomène est lié à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la concentration en Na échangeable augmente. Toutefois, pour une certaine valeur du Rapport d'Adsorption du Sodium (SAR – Sodium Adsorption Ratio), la vitesse d'infiltration augmente ou diminue avec le niveau de salinité. Par conséquent, le SAR et EC_w (salinité) devraient être employés en association pour évaluer les problèmes potentiels éventuels (Rhoades, 1977).

Les solutions suivantes de gestion sont recommandées :

a. Système d'irrigation adapté. La formation de croûte à la surface de sol est le résultat de l'irrigation avec de l'eau à SAR élevé. Le degré de gravité du problème, cependant, n'est pas le même avec tous les systèmes d'irrigation. En général, les systèmes d'irrigation de surface avec de l'eau à SAR élevé créent une croûte de surface épaisse. Des résultats identiques sont obtenus avec des arroseurs à haut débit. La perméabilité du sol ainsi que son aération et la germination des graines en sont affectées. Avec des mini-arroseurs et des goutteurs de faible débit, la formation de croûte en surface est réduite, la durée de l'irrigation est prolongée et l'eau peut pénétrer lentement dans le sol.

b. Amendements chimiques. L'utilisation d'amendement calcique, tel que le gypse, est largement admise pour l'amélioration des sols ayant un pourcentage élevé en Na par rapport à la capacité d'échange cationique (CEC) ou chaque fois que de l'eau à haut SAR est utilisée

Evaluation de la qualité des eaux usées utilisées en agriculture

pour l'irrigation. Le sodium du sol est échangé par le calcium du gypse et la dispersion de la phase colloïdale se réduit. L'application du gypse devrait être répétée périodiquement en fonction du contenu en Na de l'eau et à la CEC du sol. Les agriculteurs doivent s'informer auprès des professionnels pour estimer la quantité et la fréquence d'application du gypse. (Papadopoulos et Stylianou, 1988a).

2.2.3 Toxicité spécifique des ions

Les ions les plus toxiques rencontrés généralement dans l'eau usée traitée sont le sodium (Na), le chlorure (Cl) et le bore (B) qui cause la plupart des cas courants de toxicité. Le bore est un des éléments essentiels aux cultures ; cependant, les concentrations de B excédant 0,5 mg/l peuvent être toxiques aux cultures sensibles (tableau 7).

Tableau 7 : Tolérances relatives des plantes au bore dans l'eau d'irrigation (adapté d'Ayers, 1977)

Sensible (1 mg/l)	Semi tolérant (2 mg/l)	Tolérant (3 mg/l)
Citrus	Haricot	Carotte
Avocat	Paprika	Laitue
Abricot	Tomate	Chou
Pêche	Maïs	Oignon
Cerise	Olives	Betterave à sucre
Raisin	Radis	palmier dattier
Pomme	Potiron	Asperge
Poire	Blé	Navet
Prune	Pomme de terre	
Fraise	Tournesol	

Le chlorure (Cl) et le sodium (Na) sont moins toxiques que le bore. Dans les régions arides et semi-arides l'eau usée traitée peut avoir une concentration élevée en Cl et Na à cause du contenu relativement élevé en ces éléments dans les eaux domestiques. Avec une gestion appropriée de l'irrigation (système d'irrigation, fréquence d'irrigation, lessivage), les effets toxiques peuvent être réduits significativement, à des niveaux ne présentant aucune vraie contrainte pour la réutilisation.

Evaluation de la qualité des eaux usées utilisées en agriculture

Les mesures recommandées pour surmonter la toxicité des ions :

a. Avec des cultures sensibles au bore, il est difficile d'apporter des corrections sans changer la culture ou l'approvisionnement en eau (Ayers, 1977). Pour de l'eau contenant des teneurs élevées en bore, il est nécessaire de choisir des cultures qui peuvent tolérer cette concentration.

b. Le lessivage peut aider à maintenir la concentration en bore dans le sol à un niveau comparable à celui d'une eau classique utilisée pour l'irrigation (Bernstein et François, 1973). Selon le sol, une certaine quantité supplémentaire d'eau d'irrigation est habituellement ajoutée aux besoins d'eau d'irrigation estimés.

c. Les irrigations fréquentes diluent le bore dans la solution du sol.

d. Avec l'utilisation de la micro-irrigation, l'application de l'eau pourrait être plus uniforme et la fréquence des irrigations pourrait également être contrôlée.

2.2.4 Eléments traces et métaux lourds

C'est le problème principal avec la réutilisation des eaux usées traitées dans les pays ayant une industrie lourde. Les métaux qui peuvent être présents dans les eaux résiduaires {cadmium (Cd), cuivre (Cu), molybdène (Mo), nickel (Ni) et zinc (Zn)} peuvent constituer un risque sanitaire significatif pour les humains et les animaux et peuvent également affecter les cultures irriguées.

Ces métaux, dans la plupart des cas, s'accumulent dans la plante et peuvent affecter de façon défavorable les humains ou les animaux domestiques se nourrissant de ces plantes. Pour cette raison, beaucoup de pays développés ont établi des charges maximum admissibles en métaux lourds sur les terres agricoles. Le problème des métaux lourds est discuté plus en détail en liaison avec les boues résiduaires. Biswas (1987) a rapporté la charge en métaux lourds admise sur les terres agricoles dans quelques pays européens (tableau 5).

Tableau 8 : Charge maximum en éléments traces permise sur les terres agricoles en kg/ha.an (adapté de Biswas, 1987).

Pays	Cd	Cu	Cr	Pb	Hg	Ni	Zn
France	5.4	210	360	210	2.7	60	750
Allemagne	8.4	210	210	210	5.7	60	750
Pays-Bas	2.0	120	100	100	2.0	20	400
Angleterre	5.0	280	1000	1000	2.0	70	560

Les concentrations limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation sont présentées au (tableau 9).

Tableau 9 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation

Constituent	Utilisation à long terme ^b (mg/l)	Court terme ^c (mg/l)
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.10	2.0
Béryllium	0.10	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Sélénium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

2.2.5 Fertilisants dans les eaux usées traitées

Le potentiel de fertilisation de l'eau usée traitée due à la présence de nutriments est un atout pour les cultures mais peut également être une source de pollution pour l'environnement, en fonction principalement de la gestion des eaux usées appliquées par les agriculteurs. Les nutriments constituent une caractéristique spécifique de l'eau usée traitée qui intéresse particulièrement les agriculteurs.

Les solides en suspension et les éléments colloïdaux et dissous présents dans l'eau usée contiennent des macro- et des micronutriments qui sont essentiels à la nutrition des plantes. Cependant, la teneur nutritive de l'eau usée peut excéder les besoins de la plante et constitue ainsi une source potentielle de pollution des eaux de nappe. Elle peut également poser des problèmes liés à un développement végétatif excessif, en retardant la maturité ou en réduisant la qualité des cultures irriguées. Il est donc nécessaire de considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées. À cet égard, l'analyse d'eau usée est requise au moins une fois au début de la saison culturale.

Pour certaines cultures, aucun engrais additionnel n'est nécessaire. Par contre, lorsque les engrais sont nécessaires, les eaux usées pourraient être la réponse pour obtenir un rendement élevé de bonne qualité.

La teneur en azote de l'eau usée urbaine après traitement secondaire varie de 20 à 60 mg/l. L'azote dans l'eau usée traitée peut dépasser les besoins des cultures. La connaissance de la concentration en N dans l'eau usée et la gestion appropriée de la charge en NPK sont essentielles pour surmonter les problèmes associés à une éventuelle concentration élevée en N.

Le phosphore dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l (15-35 mg/l P₂O₅) à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. L'évaluation de P dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en concomitance avec les analyses de sol pour les conseils de fumure.

Evaluation de la qualité des eaux usées utilisées en agriculture

Le potassium contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité. La concentration en K dans l'eau usée traitée secondaire varie de 10 à 30 mg/l (12-36 mg/l K). Cette quantité doit être prise en compte pour préparer le programme de fertilisation en fonction des besoins des cultures. (FAO, 2003)

2.3 Critères de qualité biologique

Les critères de qualité de l'eau usée traitée et les directives de son utilisation sont les bases essentielles d'une installation réussie de tout projet de recyclage d'eau usée traitée. La qualité microbiologique est le critère le plus important pour les ouvriers qui travaillent au champ ainsi que pour le public qui peut être exposé directement ou indirectement à l'eau usée épurée.

Une réutilisation restrictive ou non restrictive peut être adoptée en fonction de la qualité microbiologique. Les critères microbiologiques de qualité ne sont pas développés. On suppose que chaque pays possède des directives et/ou règlements auxquels les agriculteurs doivent obligatoirement se conformer. Les agriculteurs doivent cependant être informés de ces directives comme de la qualité de l'eau usée qui leur est fournie, de façon à appliquer une gestion appropriée dans des limites de risques acceptables pour la santé et l'environnement. Les pays qui n'ont pas encore développé leurs directives nationales sont encouragés adopter celles de l'OMS (tableau 10). Il est à noter que chaque pays devrait avoir ses propres directives et ses codes de bonnes pratiques.

Tableau 10 : Directives de qualité microbiologique recommandée pour l'usage d'eau usée en agriculture (OMS, 1989)¹

Catégorie	Conditions de réalisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux ^a (nbre d'oeufs/litre) moyenne arithmétique	Coliformes intestinaux (nbre par 100 ml) moyenne ^b géométrique	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics ^c	Ouvriers agricoles consommateurs public	Maximum 1	Maximum 1.000 ^d	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent
B	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres ^e	Ouvriers agricoles	Maximum 1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B. si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire

On détaille les catégories susdites dans les paragraphes qui suivent.

2.4 Préalables à une réutilisation efficiente et efficace

Un programme de fertilisation et d'irrigation correct est le paramètre le plus important pour une irrigation durable à long terme avec l'eau usée. Les analyses de sol et d'eau usée sont nécessaires afin de fixer les conseils de fertilisation. La fertilisation avec l'eau usée est différente de celle recommandée pour l'eau conventionnelle. (FAO, 2003)

3 IRRIGATION AVEC L'EAU USÉE TRAITÉE

L'irrigation joue un rôle essentiel dans l'accroissement et la stabilité des rendements des cultures. Dans les régions arides et semi-arides, l'irrigation est essentielle pour une agriculture économiquement viable, alors que dans des régions semi-humides l'irrigation est souvent apportée sur certaines cultures en complément de la pluviométrie.

3.1 Méthodes d'irrigation

On distingue deux méthodes d'irrigation :

3.1.1 Méthodes (traditionnelles) de surface

- Irrigation par submersion (à la planche ou par bassin), humecte presque toute la surface du terrain
- Irrigation à la raie (ou par sillon), une partie de la surface du terrain est humectée.

Ces méthodes sont utilisées sur presque 95% des superficies irriguées à travers le monde. Elles sont peu coûteuses, simples à comprendre et à mettre en œuvre. Elles conviennent à beaucoup de pays en voie de développement, en particulier si l'eau n'est pas le facteur limitant pour la production agricole.



Figure 4 : Irrigation de surface



Figure 5 : Irrigation à la raie

3.1.2 Méthodes d'irrigation sous pression

Asperseurs (asperseurs de capacité élevée, mini asperseurs ordinaires et asperseurs). Les cultures et le sol sont mouillés de la même manière qu'avec la pluie.

Goutte à goutte (système d'irrigation ponctuel ou localisé). Les caractéristiques principales du système sont :

Evaluation de la qualité des eaux usées utilisés en agriculture

- efficacité élevée d'application. Si elle est employée correctement, c'est probablement la meilleure méthode d'irrigation dans les endroits où la pénurie de l'eau est un problème.
- méthode appropriée pour faire face aux problèmes associés à la salinité de l'eau d'irrigation et à l'alcalinité du sol.
- cette méthode est sûre et pourrait être la plus prometteuse pour l'irrigation avec l'eau usée, en particulier si le traitement est suffisant pour empêcher l'obstruction des orifices.
- le contact de l'eau usée avec les agriculteurs et les cultures irriguées est réduit au minimum.
- aucun aérosol ne se forme et, en conséquence, aucune pollution de l'atmosphère et de la zone proche des champs irrigués ne se produit.

Irrigation souterraine. Ce système n'est pas encore employé avec l'eau usée, mais il pourrait être utile pour irriguer avec de l'eau usée de mauvaise qualité et à risque sanitaire élevé. L'irrigation souterraine et l'irrigation localisée peuvent assurer une meilleure protection sanitaire.

Irrigation par Bubbler. C'est une technique d'irrigation localisée avec régulation de l'écoulement. Lorsqu'il y a danger de colmatage, ce système convient mieux que l'irrigation goutte à goutte et les mini asperseurs.



Figure 6 : Irrigation par aspersion



Figure 7 : Irrigation par Bubbler



Figure 8 : Irrigation souterraine

3.2 Stratégie pour protéger la santé humaine et l'environnement

La santé humaine et l'environnement pourraient être protégés au travers de quatre groupes de mesures (Mara et Cairncross, 1987) :

- le niveau de traitement des eaux résiduaires,
- la restriction des cultures pratiquées,
- les méthodes d'irrigation,
- le contrôle de l'exposition humaine aux eaux usées épurées et l'hygiène.

Le traitement complet des eaux usées empêche les microbes pathogènes excrétés d'atteindre le champ. Cependant, les agriculteurs, dans la plupart des cas, doivent faire face à

l'eau usée d'une certaine qualité. A cause de cela, la restriction des cultures, le choix du système d'irrigation et le contrôle de l'exposition humaine sont très importants. Une combinaison de mesures agro-techniques à sélectionner.

3.3 Choix des cultures pour la protection sanitaire

L'eau usée qui répond aux directives de qualité de l'OMS pour un usage sans restriction peut être employée pour irriguer toutes les cultures, sans autres mesures sanitaires de protection supplémentaires. Si les directives de qualité de l'OMS ne sont pas entièrement satisfaites, il est encore possible d'irriguer certaines cultures sans risques pour le consommateur. Les cultures peuvent être groupées en trois grandes catégories, en fonction du degré de protection sanitaire requis (Shuval et al. 1986).

3.3.1 Catégorie A :

Protection nécessaire seulement pour des ouvriers agricoles :

- cultures non destinées à la consommation humaine (coton, sisal),
- cultures normalement traitées par la chaleur ou le séchage avant consommation humaine (graines, betterave à sucre),
- légumes et fruits cultivés exclusivement pour mettre en conserves ou autre procédé qui détruit efficacement les pathogènes,
- fourrages séchés au soleil et moissonnés avant consommation par les animaux,
- parc irrigué en zone clôturée sans accès au public (pépinières, forêts, et ceinture de verdure).

3.3.2 Catégorie B

Des mesures complémentaires peuvent être nécessaires :

- terre de pâture, fourrage vert,
- plantes pour la consommation humaine qui n'entrent pas en contact direct avec l'eau usée, à condition que rien ne soit ramassé sur le sol et que l'irrigation par aspersion ne soit pas employée (cultures arbustives, vignes, etc.),
- plantes pour la consommation humaine, consommées seulement après cuisson (pommes de terre, aubergine, betteraves),
- plantes pour la consommation humaine, dont la peau n'est pas mangée (melons, pastèques, citron),
- cultures irriguées par aspersion.

3.3.3 Catégorie C.

Le traitement des eaux usées jusqu'à la qualité "sans restriction" des directives de l'OMS est essentiel.

Evaluation de la qualité des eaux usées utilisé en agriculture

- Les plantes souvent consommées crues et développées en contact étroit avec les eaux usées (légumes frais tels que la laitue ou les carottes, ou les fruits irrigués par aspersion).
- Irrigation des parcs avec accès public (parcs, pelouses, cours de golf).

La restriction des cultures est une stratégie qui assure la protection du consommateur.

Cependant cette stratégie n'assure pas la protection des ouvriers agricoles et leurs familles puisqu'ils restent exposés au risque lié à la présence des microbes pathogènes dans le sol et sur les cultures. La restriction des cultures n'est donc pas une stratégie adéquate pour les agriculteurs au sens strict ; elle devrait être complétée par d'autres mesures comprenant leur hygiène personnelle et de leur famille.

3.4 Problèmes liés aux systèmes d'irrigations

Une attention particulière doit être portée aux constituants de l'eau usée traitée qui peuvent obstruer les systèmes d'irrigation. Le colmatage des asperseurs, des micro-asperseurs et des goutteurs peut engendrer un problème sérieux. L'accumulation (dépôts biologiques, bactéries, etc.) dans les arroseurs, les canalisations d'alimentation, les orifices de distribution, peut causer un colmatage tout comme une concentration importante en algues et en matières en suspension. Les problèmes de colmatage les plus sérieux se produisent avec les systèmes goutte à goutte. Une filtration peut être requise juste avant irrigation. Ceci entraîne que la gestion du système d'irrigation goutte à goutte utilisant l'eau usée traitée à besoin de plus d'assistance. (FAO, 2003)

➤ les solutions suggérées pour résoudre le problème de colmatage sont :

- Pour éviter les problèmes dus aux algues en suspension qui s'accumulent à la surface de l'eau et aux problèmes dus à l'accumulation de boues au fond du réservoir, l'eau doit être pompée à une profondeur d'environ un mètre de la surface.
- Filtration. En fonction de la concentration des solides en suspension, des algues et d'autres impuretés, des filtres à gravier, à sable ou autres sont requis avec les systèmes de micro-irrigation.
- Choix de la méthode d'irrigation. En cas d'impuretés et en l'absence de système de filtration, les systèmes goutte à goutte devraient être évités. Selon la culture, les arroseurs peuvent être un meilleur choix. Même l'irrigation de surface pourrait être préférée. (FAO, 2003)

4 Conclusion

La bonne évaluation de la qualité des eaux usées utilisées pour l'irrigation est importante, pour les raisons suivantes :

- L'impact néfaste sur l'environnement.
- Eviter le colmatage des systèmes d'irrigation (micro-irrigation).
- Le choix de la culture à irriguer.

Les normes de l'OMS présente un bon support dans ce contexte. Les critères relatifs à l'environnement et à l'agriculture sont :

- Effet potentiel sur les aquifères, les sols, la faune et la flore
- Effet potentiel sur les cultures et sur les propriétés des sols
- Adaptabilité aux caractéristiques des systèmes d'irrigation utilisés

Critères relatifs à la santé humaine et au contexte social

- Contenu en organismes pathogènes infectieux
- Contenu en composés chimiques toxiques
- Acceptabilité par les populations aux niveaux esthétique, culturel et social

CONCLUSION GENERALE

Conclusion

Le déficit hydrique en Algérie est une dure réalité en face de laquelle on doit trouver et choisir des solutions adéquates pour le maîtriser.

L'utilisation des eaux usées dans l'agriculture s'avère une pratique possible et nécessaire en Algérie, la présence des terres agricoles qui manquent de l'eau suffisante compose un défi pour améliorer l'agriculture des plaines Algériennes.

La réutilisation des eaux usées dans l'irrigation doit être menée par un personnel qualifié. Les avantages de cette méthode sont :

- Réduit la demande pour les eaux conventionnelles
- Évite des investissements coûteux pour la capture et l'entreposage des eaux de ruissellement
- Améliore la qualité des eaux en aval des sites où les eaux usées étaient déversées (cours d'eau, lacs et eaux littorales)
- Permet d'accroître les activités touristiques
- Établit un lien additionnel entre espace urbain et rural
- Augmente la production agricole
- Réduit le besoin en fertilisants commerciaux
- Réduit les coûts de traitement des eaux pour les utilisateurs en aval

Les inconvénients sont :

- Problèmes de santé humaine et animale associés à une mauvaise utilisation des eaux usées ou recyclées
- Peu d'incitatifs et de lois pour une meilleure utilisation des eaux usées
- Oblige un développement plus long et méticuleux des projets d'irrigation de ce type (analyse technique et économique)
- Propriétés souvent complexes des eaux usées
- Certaines cultures plus difficilement vendues sur le marché Problème d'acceptabilité sociale
- La qualité des eaux recyclées peut avoir un impact négatif sur les sols et les cultures
- L'eau pour l'agriculture est souvent subventionnée ce qui fausse l'analyse pour les eaux recyclées
- Coût quelques fois élevé pour le traitement des eaux usées
- Revenu de l'agriculture souvent incertain pour un coût fixe de traitement constant.

Références bibliographique

1. Ayers, R.S. 1977. Quality water for irrigation. J. Irrig. Drain. Div., ASCE : 135-154.
2. FAO, 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage paper 29, Rev. FAO, Rome.
3. Goldberg D., Bornat, B and Bar-Yosef, 1971. Distribution of roots, water and minerals as a result of trickle irrigation. J. Am. Soc. Hort. Sci., 96:645-648.
4. Papadopoulos, I. and Y. Stylianou. 1988. Treated effluent as a source of N for trickle irrigated sudax. Plant and Soil.
5. Maas, E.V., 1984. Salt tolerance of plants. The handbook of land science in agriculture. B.R. Cristie (Ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.
6. Rhoades, J.D. 1977. Potential of using saline agricultural drainage for irrigation. In Proc. Water management for irrigation and drainage. ASAE, Reno, Nevada, July 1977:85-116.
7. Biswas A.K. 1987. Role of wastewater reuse in planning and management. In A.K. Biswas and A. Arar (Eds) Treatment and reuse of sewage effluent for irrigation. Butterworth Scientific Guildford, U.K.
8. Thèse « Etude des possibilités de valorisation des sous-produits d'épuration de la ville de Jijel en agriculture », BOUMALEK Walid, 2013/2014, Ecole Nationale Polytechnique,
9. Angelakis A.N.; Marecos do Monte M.; Bontoux L. and Asano T. (1999). The status of wastewater reuse in the mediterranean basin : Need for guidelines.