

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



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE



## **Projet de Fin d'Etude**

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE MASTER EN HYDRAULIQUE

**Présenté par**

**BOUMALEK Walid**

*Etude des possibilités de valorisation des sous-  
produits d'épuration de la ville de Jijel en agriculture*

**Proposé par : Mr : M.NAKIB**

**Dirigé par : Mr : M.NAKIB et Mr : A.KETTAB**

**Promotion 2014**

## *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 chères sœurs Imen et Zineb*

*Mes chers frères Amine , Oussama et Ramí*

*Mes chers amis Cherif, Walid, Lounis et Boumedién*

*Mes camarades de la promotion 2014*

## *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.NAKIB, pour son suivi au quotidien, pour ses conseils, sa disponibilité, son travail constructif et pour toute la confiance qu'il a su me témoigner à travers l'autonomie qu'il m'a accordée durant cette étude.*

*Je tiens aussi à remercier Mr A.KETTAB pour ses conseils et son encouragement*

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

*Mr A.BERMAD, chef du département hydraulique,  
Mme BENMAMAR , Mr N.DACHEMI , Mr BENZIADA , Mr  
BELHADJ et Mr MESSAHLI , , Mr BERKANI , Mr NEBBACH.*

## ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الأطروحة هو دراسة إمكانية إعادة استخدام المنتجات الثانوية و التي تعتبر بقايا التصفية التي تقوم بتخليفها محطة تصفية مياه الصرف لمدينة جيجل. وفي هذا الإطار عملنا على محاولة تقيم هذه المنتجات الثانوية و هذا من خلال إجراء مختلف التحاليل الفيزيوكيميائية و البكتريولوجية و عوامل التسمم التي تميز المياه المعالجة و الحمأة.

الكلمات المفتاحية : محطة تصفية مياه الصرف , المياه المعالجة , الحمأة , مدينة جيجل

## Résumé

L'objectif principal de notre travail est d'examiner les sous produits d'épuration de la station d'épuration de la ville de Jijel en vue de leur valorisation agricole.

Dans le cadre de cette étude, on s'intéresse à examiner les problèmes entrant généralement dans les quatre grandes catégories suivantes: salinité, perméabilité, toxicité et état sanitaire à travers les quelles nous avons effectuées des analyses sur les différent paramètres physico-chmiques , bactériologique et toxiques caractérisant les eaux épurées et les boues.

Mot clé : station d'épuration, eaux épurées , boues , la ville de Jijel

## Summary

The main objective of our work is to study the possibility of reusing by-products of purification that are generated by the WWTP of the city of Jijel.

In this study, we are interested in examining the problems generally under fourths broad categories: salinity, permeability, toxicity and health status through which we we have done analyzes on different physico-chmiques, bacteriological and toxic parameters characterizing water purified and sewage sludge.

Keyword : wastewater treatment plant ( WWTP), water purified , sewage sludge , city of Jijel.

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I : Réutilisation des eaux usées</b> .....	3
I.1 Introduction.....	3
I.2. L'intérêt de la réutilisation des eaux usées épurées.....	3
I.3. Objectifs de la réutilisation des eaux usées épurées.....	4
I.4. Les types de réutilisation.....	4
I.4.1. Réutilisation directe.....	4
I.4.2. Réutilisation indirecte.....	5
I.5. Exemple de réutilisation des eaux épurées.....	6
I.5.1. La recharge des nappes souterraines.....	6
I.5.2. Le soutien d'étiage.....	7
I.5.3. Alimentation de zones humides.....	7
I.5.4. Le secteur industriel.....	7
I.6. Réutilisation des eaux épurées en agriculture.....	7
I.6.1. Avantages environnementaux.....	8
I.6.2. Avantages économiques.....	8
I.6.3. Avantages sociaux.....	9
I.6.4. Les types d'irrigations.....	9
I.7. Caractéristiques de l'eau d'irrigation.....	10
I.7.1. La salinité.....	10
I.7.2. le ratio d'absorption du sodium.....	11
I.7.3. L'Alcalinité et la dureté.....	12
I.7.4. Eléments toxiques.....	13
I.7.5. Le PH.....	13
I.8. Les normes de qualité de l'eau d'irrigation.....	13
I.9. Les types de traitement selon le mode de réutilisation.....	15
I.10. Réglementation de la réutilisation des eaux usées épurées dans le monde.....	16
I.11. La réutilisation des eaux usées épurées agricole dans le monde.....	16
I.12. La Réutilisation des eaux usées en Algérie.....	17

I.12.1. Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées en Algerie.....	19
I.13. Les différents aspects lié à l'utilisation des eaux usées.....	19
I.13.1 Aspects sanitaires.....	19
I. 13.2. Aspect économiques et financiers.....	20
I.14. Conclusion.....	20
<b>Chapitre II : Valorisation des sous-produits de l'épuration.....</b>	<b>21</b>
II.1. Introduction.....	22
II.2. Les différentes filières de traitement des boues.....	24
II.3 Caractéristiques des boues.....	24
II.3.1. La teneur en matière sèche (siccité).....	24
II.3.2. La teneur en matière volatile.....	24
II.3. 3. Teneur en eau.....	24
II.3. 4. La viscosité.....	24
II.3. 5. La charge spécifique.....	24
II.3. 6. La résistance spécifique.....	24
II.3.7. La compressibilité.....	24
II.3.8. Les pouvoirs calorifiques.....	25
II.4. Composition des boues résiduaires.....	25
II.4.1. Les éléments utiles (intérêt agronomique).....	25
II.4.2. Les éléments indésirables.....	26
II.5. Technique de traitement des boues selon leur utilisation.....	27
II.5.1. Les boues peuvent être chaulées.....	27
II.5.2. Les boues peuvent être compostées.....	27
II.5. 3. Les boues peuvent être séchées.....	27
II.6. Valorisation des boues résiduaires.....	28
II.6.1. La valorisation agronomique.....	28
II.7. Conclusion.....	31
<b>Chapitre III :Présentation de la STEP d'Elrabta-Jijel.....</b>	<b>32</b>
III.1. Présentation de la wilaya de Jijel.....	33
III.2. Office National de l'Assainissement (ONA).....	33
III.2.1 Les missions de l'office national de l'assainissement.....	33
III.3. Localisation de la station d'épuration d'Elrabta.....	33

III.4. Construction et choix d'implantation et de la STEP.....	33
III.5. Caractéristiques générales de la STEP d' Elrabtata-Jijel.....	33
III.6. Caractéristiques techniques de STEP.....	34
III.6.1. Charge hydraulique.....	34
III.6.2. Charge polluantes.....	35
III.6.3. Qualité de l'effluent a rejeté.....	36
III.7. Collecte des eaux résiduaires.....	36
III.8. Procédé d'épuration.....	36
III.9. Discussion des résultats .....	36
III.9.1. File eau.....	37
III.9.1.1. Paramètres physico-chimiques.....	37
III.9.1.2. La salinité.....	37
III.9.1.3. Le SAR.....	39
III.9.1.4. Le potassium.....	40
III.9.1.5. Les éléments traces métalliques (ETM).....	40
III.9.1.6. Composition microbiologique des eaux épurées.....	41
III.9.1.7. Quantités de fertilisants apportés par les eaux épurées.....	42
III.9.2. Fille boues.....	44
III.9.2.1. L'indice de Mohlman (IM).....	44
III.9.2.2. La siccité des boues.....	45
III.9.2.3. La Matière organique.....	46
III.9.2.4. Le rapport C/N.....	46
III.9.2.5. Le calcium.....	47
III.9.2.6. Les éléments traces métalliques (ETM).....	47
III.10. Conclusion.....	48
<b>Conclusion générale et perspectives.....</b>	<b>49</b>
<b>Annexe I : Les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fin d'irrigation- paramètres biologiques (Source : MRE).....</b>	<b>50</b>
<b>Annexe II : Les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation- paramètres physico-chimiques (Source : MRE).....</b>	<b>51</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>52</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1.</b> Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation.....	11
<b>Tableau I.2.</b> Influence de la salinité et du RAS sur le taux d'infiltration.....	12
<b>Tableau I.3.</b> Degré relatif de dureté de l'eau selon la quantité de carbonate de calcium.....	13
<b>Tableau I.4</b> Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation FAO (1985).....	14
<b>Tableau I.5.</b> Procédés d'épuration pour usages principaux.....	15
<b>Tableau I.6.</b> Volumes d'eau usée rejetés en Algérie (MRE, 2003).....	18
<b>Tableau II.1.</b> Concentration des éléments traces métalliques dans la boue.....	26
<b>Tableau III.1.</b> Caractéristiques générales de la station d' Elrabta-Jijel.....	34
<b>Tableau III.2.</b> Valeurs nominales de la Charge hydraulique de la STEP d' Elrabta-Jijel (Document de la STEP).....	35
<b>Tableau III.3.</b> Caractéristiques de l'eau brute (Document de la STEP).....	35
<b>Tableau III.4.</b> Caractéristiques de l'eau épurée selon les normes de la STEP (Document de la STEP).....	36
<b>Tableau III.5.</b> Paramètres physico-chimiques des eaux épurées de la STEP d'Elrabta-Jijel.....	37
<b>Tableau III.6.</b> Calcul de la minéralisation (salinité) à partir de la conductivité.....	38
<b>Tableau III.7.</b> Les espèces ioniques du SAR mesurées.....	39
<b>Tableau III.8.</b> Résultats d'analyse des ETM dans la boue de la STEP d'Elrabta-Jijel.....	41
<b>Tableau III.9.</b> Résultats d'analyse bactériologique des eaux épurées.....	41
<b>Tableau III.10.</b> Quantités (en kg) de fertilisants apportés par une lame d'eau épurée de 100mm à l'hectare (1000 m <sup>3</sup> /ha).....	42
<b>Tableau III.11.</b> Quantités (en kg) de fertilisants apportés par une irrigation de 5000 m <sup>3</sup> /ha/an.....	43

<b>Tableau III.12.</b> exigence théorique de chaque types de culture en fertilisants.....	43
<b>Tableau III.13.</b> Surfaces potentiellement irrigables par les effluents traités de la station d'Elrabta-Jijel.....	43
<b>Tableau III.14 :</b> Résultats d'analyse des ETM dans la boue de la STEP d'Elrabta-Jijel.....	48

## Liste des figures

<b>Figure I.1.</b> Types de réutilisation des eaux usées.....	6
<b>Figure I.2.</b> Répartition par usage et localisation des expériences mondiales les plus importantes en REUE .....	16
<b>Figure II.1.</b> Principales étapes de traitement et destinations des boues.....	23
<b>Figure II.2.</b> Méthodes d'épandage des boues.....	29
<b>Figure III.1.</b> Représentation graphique de l'évolution de la salinité des eaux épurées de la STEP d'Elrabta-Jijel (Novembre 2008 à Août 2009).....	38
<b>Figure III.2.</b> Diagramme de Richards (Riverside).....	40
<b>Figure III.3.</b> Représentation graphique de la variation mensuelle de l'indice de Boue pour la STEP d'Elrabta- Jijel (décembre 2008 à Août 2009).....	44
<b>Figure III.4.</b> Représentation graphique de la variation mensuelle de la siccité des Boues pour la STEP d'Elrabta- Jijel (décembre 2008 à Août 2009).....	45
<b>Figure III.5.</b> Représentation graphique de la variation mensuelle de MVS des Boues pour la STEP d'Elrabta- Jijel (décembre 2008 à Août 2009).....	46

## Liste des abréviations

**AFNOR** : Association française de normalisation

**CE** : Conductivité électrique

**DBO<sub>5</sub>** : Demande biochimique en oxygène

**DCO** : Demande chimique en oxygène

**FAO** : Food and Agriculture Organization

**IB** : Indice de boues

**IM** : Indice de Mohlmann

**MES** : Matières en suspension

**MM** : Matières minérales

**MS** : Matière sèche

**MVS** : Matières volatiles en suspension

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : Ammonium

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Nitrate

**ONA** : L'Office National de l'Assainissement

**PH** : Potentiel d'Hydrogène

**P<sub>T</sub>** : Phosphore total

**REUE**: Réutilisation des eaux usées épurées.

**SAR**: Taux d'adsorption de Sodium (Sodium Adsorption Ratio).

**STEP** : Station d'épuration des eaux usées

**μS** : Micro siemens

## Introduction générale

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.

L'intérêt porté par les pouvoirs publics algériens au traitement des eaux usées s'est manifesté par l'allocation de crédits importants à la réalisation de stations d'épurations qui sont en nombre d'une centaine déjà réalisées ou en voie de réalisation.

Seulement, ces réalisations n'ont pas été suffisantes pour atteindre l'objectif de protéger l'environnement d'une manière générale et les ressources hydriques en particulier : (Niveau de pollution alarmant des cours d'eau, tels que oued El Harrach.....etc.). La politique de valorisation des eaux usées est nécessaire d'autant plus que celles-ci une fois traitées, pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer à la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en irrigation.

La réutilisation des sous produits de l'épuration à savoir l'eau épurée et la boue d'épuration, représente l'alternative attendue pour la préservation de la ressource de bonne qualité et la promotion du secteur agricole .Cette technique n'engendre aucun investissement supplémentaire parce que l'eau est déjà produite une seule fois pour l'usage domestique, puis après pollution elle sera récupérée et épurée. Au lieu d'être rejetée au milieu naturel, elle sera utilisée en irrigation agricole. Cette ressource additionnelle est non négligeable et disponible en permanence. De plus, sa valeur agronomique par l'apport de fertilisants, permet de réduire les dépenses de l'exploitation en minimisant les apports d'engrais chimiques. La boue générée par l'épuration, est riche en matière organique et en éléments nutritifs, au lieu d'être mise en décharge ou incinérée, elle peut être utilisée comme support de fertilisant ou amendement organique.

C'est dans ce contexte de valorisation des sous produits de l'épuration que s'inscrit ce travail axé essentiellement sur l'aptitude des eaux usées épurées et des boues d'épuration de la ville de Jijel à la réutilisation en agriculture.

# **Chapitre I**

Réutilisation des eaux usées

## I.1 Introduction

La croissance démographique des pays, l'effet de la pollution sur les eaux de surface et souterraines, la distribution inégale des ressources en eau et les graves sécheresses ont conduit à la recherche de nouvelles sources innovatrices d'approvisionnement en eau. Plusieurs solutions dites alternatives ont été élaborées, entre autre la réutilisation des eaux usées épurées (REUE) qui est le sujet traité dans ce chapitre.

Ainsi, les eaux usées deviennent une manière de répondre à la demande en eau, faisant partie des stratégies de mobilisation et de développement des ressources en eau de plusieurs pays, notamment ceux en situation de stress hydrique.

## I.2. L'intérêt de la réutilisation des eaux usées épurées

La réutilisation ou le recyclage des eaux usées est un moyen efficace de préserver les ressources en eaux naturelles.

Les applications des projets de REUE sont multiples. Elles dépendent de nombreux facteurs que l'on peut regrouper en cinq classes :

- ◆ **Le contexte socio-économique** : le type d'activité industrielle, le nombre et la densité de l'habitat, l'importance de l'agriculture, la présence d'usines de production d'énergie, etc. ;
- ◆ **Le contexte écologique** : la quantité des ressources disponibles, la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, la sensibilité du milieu récepteur à l'eutrophisation et aux autres pollutions, le contexte hydrogéographique, etc. ;
- ◆ **Le niveau de traitement des eaux** : A chaque niveau de traitement, on peut appliquer un usage différent ;
- ◆ **La réglementation** : Elle limite les usages en fonction de la qualité de l'eau utilisée et donc de son niveau de traitement. Plus le niveau sanitaire est bon, plus les applications autorisées seront nombreuses ;
- ◆ **L'acceptation par la population** : Ce dernier aspect n'est pas à négliger. L'idée de réutiliser des eaux usées peut avoir un impact psychologique négatif sur la population. On peut faire le parallèle avec le problème des boues de stations d'épuration, qui crispe actuellement l'opinion. Il faut donc bien informer la population des risques et des avantages de la REUE.

La conservation de l'eau est un problème clef dans les zones arides et semi-arides. Les eaux souterraines sont souvent la seule source disponible et les réserves sont surexploitées. Lorsque les eaux usées sont évacuées dans les rivières, elles sont perdues pour le système local, mais leur recyclage en irrigation contribue à la reconstitution de la nappe d'eau souterraine, ce qui maintient l'eau dans le système et permet de le réutiliser ultérieurement.

### I.3. Objectifs de la réutilisation des eaux usées épurées

La réutilisation des eaux usées épurées est une action volontaire et planifiée qui vise à produire des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler les déficits hydriques.

Une fois épurées, les eaux usées peuvent être réutilisées sous plusieurs formes. Cette réutilisation a pour objectifs :

- Protéger l'environnement hydrique : la réutilisation des eaux usées traitées contribue à la diminution de la pollution résiduelle engendrée par l'activité de l'assainissement et contribue à améliorer la qualité des milieux récepteurs, notamment des plages et des zones humides de décharge ;
- Economiser l'eau de bonne qualité et réduire le coût du traitement de potabilisation : la pression sur les ressources hydriques s'est particulièrement accentuée pour répondre à la forte croissance démographique, à l'urbanisation, à la diversification des activités économiques et à l'amélioration sensible du niveau de vie ;
- Créer des zones supplémentaires d'irrigation ainsi que remettre en valeur certaines terres agricoles devenues impropres à la culture ;
- Créer des espaces verts en particulier dans les agglomérations touristiques sans impact sur les ressources en eau potable ;
- Limiter la salinité des captages d'eau potable.

### I.4. Les différents types de réutilisation

Les eaux usées représentent une des composantes de l'offre globale en eau au même titre que les eaux superficielles et souterraines [1]. On distingue deux types de réutilisation :

#### I.4.1. Réutilisation directe

La réutilisation directe d'eau existe surtout dans le secteur industriel, où d'importants efforts sont faits pour réduire les prélèvements et les rejets d'eau. Dans la mesure où le second usage est identique au premier, on réserve à cette pratique le terme de recyclage plutôt que de réutilisation.

La réutilisation des effluents urbains pour des usages domestiques est parfois envisagée, mais elle est peu pratiquée car non seulement elle se heurte à la réticence du public, mais elle nécessite aussi des équipements de traitement très coûteux et des circuits de distribution spécifiques.

Voilà pourquoi les exemples d'utilisation pour l'alimentation en eau des chasses de toilettes existent essentiellement dans des pays « riches » tels que la Suisse.

La ville-état de Singapour, qui dépend encore de la Malaisie pour l'essentiel de son approvisionnement en eau, envisagerait de produire de l'eau potable à partir des eaux usées épurées.

Sinon l'eau peut servir à laver les chaussées et les trottoirs et assurer l'alimentation des bouches d'incendie [2].

L'unique exemple historique de production directe d'eau potable à partir des eaux usées est celui de Windhoek, en Namibie.

Plusieurs projets de démonstration de production directe d'eau potable à partir des eaux résiduaires urbaines ont été menés à Denver aux Etats-Unis, à Capetown en Afrique du Sud, à Sao Paolo au Brésil et à Mexico City. Selon différentes études, la qualité de l'eau produite aux Etats-Unis à partir d'effluents secondaires est meilleure que celle de bien des ressources naturelles de surface. Les études épidémiologiques indiquent l'absence de risques microbiologiques et toxicologiques [3].

#### **I.4.2. Réutilisation indirecte**

La plupart des systèmes d'assainissement rejettent leurs effluents dans les eaux de surface, qui sont elles-mêmes prélevées en aval pour d'autres usages : industrie, irrigation, eau potable. L'on estime ainsi qu'à Paris en période d'étiage la Seine serait constituée pour moitié d'eau issue des dispositifs d'assainissement. Ce type de réutilisation passe par le milieu naturel : l'eau est prélevée au cours de son cycle hydrologique et a en quelque sorte « perdu son identité » : il s'agit donc d'une réutilisation indirecte.

En fait le débouché potentiel majeur pour la réutilisation directe d'effluents urbains reste l'irrigation. Trois motifs principaux peuvent conduire à la réutilisation en irrigation :

◆ **Ressource naturelle peu disponible** : la réutilisation de l'eau usée prend son intérêt lorsque la ressource naturelle est rare (climats arides, milieux insulaires).

◆ **Difficulté de rejet direct** : dans le cas de cours d'eau ayant un débit d'étiage très faible, le rejet d'effluents constitue toujours une source majeure de pollution, même si le traitement est très poussé. D'autres exemples concernent les rejets en milieu karstique (risque de pollution des eaux souterraines) ou en bord de mer (zone touristiques ou conchylicoles), dans ces cas il est possible d'envisager une réutilisation agricole des eaux usées, le complexe sol-plante servant alors de procédé d'épuration extensif complémentaire. L'un des avantages est que la période sensible (étiage) est aussi celle qui correspond aux besoins en eau maximum des plantes.

◆ **Valorisation des nutriments** : les eaux usées domestiques contiennent des éléments fertilisants habituellement utilisés en agriculture : azote, phosphore, potassium, calcium...Il peut être séduisant de considérer que la réutilisation est une manière de valoriser ces éléments. Toutefois cet apport n'est pas un élément décisif dans l'adoption de projets de réutilisation, car, par rapport aux besoins des plantes, les nutriments sont soit surabondants (azote et phosphore), soit pas assez (potassium).

Enfin, il convient de ne pas oublier que les eaux usées peuvent aussi contenir des composés biologiques ou chimiques (métaux lourds, sels) qui peuvent être toxiques pour les ouvriers agricoles, les consommateurs de produits irrigués, les personnes habitant au voisinage des périmètres irrigués, voire les plantes elles-mêmes. Elles contiennent aussi des matières en

suspension qui nécessitent des matériels d'irrigation adaptés afin d'éviter les phénomènes de colmatage. Ajoutés au coût des analyses permettant de vérifier l'innocuité des eaux usées au regard des normes en vigueur, ces facteurs peuvent rendre l'apport de nutriments des eaux usées moins compétitif qu'un apport traditionnel d'engrais [2].

Le stockage intermédiaire des eaux usées (en partie assainies) peut s'effectuer dans des nappes phréatiques, des lacs ou des réservoirs artificiels. Le taux de dilution des eaux usées réutilisées avec l'eau des ressources naturelles varie de 16 à 40 %. Aucun impact négatif sur la santé humaine de ce type d'eau réutilisée n'a jamais été détecté.

Le premier projet de production indirecte d'eau potable à partir des eaux usées en Europe a été mis en place en 1997 dans la région d'Essex (Grande Bretagne) par la société Essex & Suffolk Water. Plus de 35 000 m<sup>3</sup>/j d'eaux usées traitées sont mélangées aux eaux de surface (taux de dilution maximale de 37%) et envoyées dans le réservoir d'eau potable d'Hanninglied. Un suivi rigoureux de la qualité des eaux réutilisées a été mis en place, complété par de nombreuses études d'impacts sur l'environnement et la santé publique. [3]

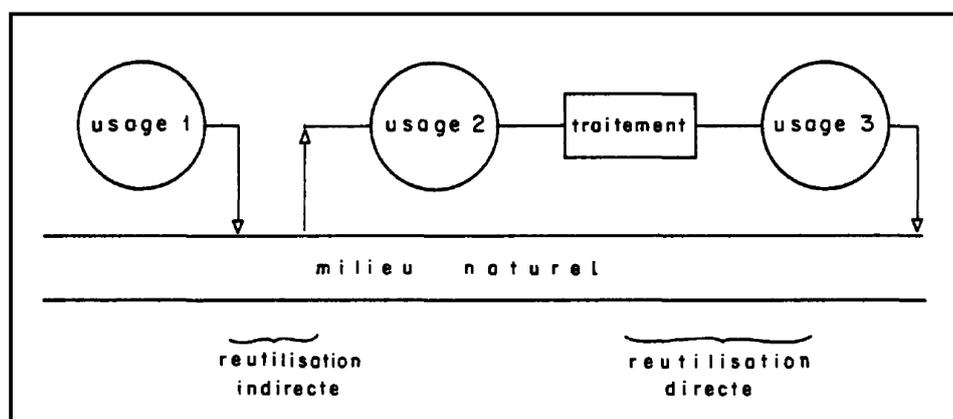


Figure II.1: Types de réutilisation des eaux usées

## I.5. Exemple de réutilisation des eaux épurées

### I.5.1. La recharge des nappes souterraines

La principale motivation concernant la recharge de nappe est la dégradation de sa qualité environnementale et la diminution de sa réserve en eau. Ce mode de réutilisation a lieu essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement de nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer.

Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique :

♦ **Par percolation** : Le principal problème rencontré est celui des algues, qui pullulent dans les bassins. Les solutions préconisées sont variées : introduction de poissons, d'algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse

♦ **Par recharge directe** : L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits, disposés en ligne face à la nappe d'eau salée, et formant une véritable barrière. L'eau injectée est un mélange de deux tiers d'eaux épurées et d'un tiers d'eau de la nappe.

### **I.5.2. Le soutien d'étiage**

Le soutien d'étiage peut avoir pour objectif le maintien en vie faunistique d'un tronçon de cours d'eau. Il peut aussi viser à fournir à un cours d'eau (souvent de type oued) un débit dont la destination est d'être partiellement récupéré à l'aval pour différents usages dont principalement l'irrigation.

### **I.5.3. Alimentation de zones humides**

La sauvegarde de zones humides par des EUT constitué à ce jour un domaine non négligeable de la REUT. Là aussi ce sont principalement les enjeux floristiques et faunistiques qui sont ciblés, et plus globalement la sauvegarde et la valorisation du patrimoine environnemental. (Alain R., 2011).

### **I.5.4. Le secteur industriel**

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau. Les secteurs les plus grands consommateurs en eau sont les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) et les papeteries. La qualité de l'eau réutilisée est réglementée et dépend du type d'application ou de production industrielle. La part des eaux usées urbaines ne dépasse pas 15% du volume des eaux réutilisées en industrie. Aux Etats-Unis, par exemple, le volume des eaux résiduelles réutilisées en industrie est d'environ 790 000 m<sup>3</sup>/j, dont 68 % pour le refroidissement.

## **I.6. Réutilisation des eaux épurées en agriculture**

Parmi les différentes voies d'utilisation des eaux usées, l'irrigation agricole est la plus grande consommatrice d'eau. La valorisation des eaux usées en irrigation est considérée non seulement comme la création d'une nouvelle ressource mais aussi et surtout comme un traitement complémentaire qui permet de limiter le rejet direct dans le milieu naturel (Masséna, 2001), qui selon lui, la réutilisation des eaux usées en agriculture apporte en outre des bénéfices additionnels résultant, dans certains cas, de l'augmentation du rendement des cultures et de l'amélioration de l'efficacité des systèmes d'irrigation.

Plusieurs études ont été réalisées sur l'irrigation de cultures par des eaux usées épurées. Ce principe a été testé sur différentes cultures comme les agrumes, les cultures à haute valeur ajoutées sous serre, les cultures forestières, les fourrages et différents types de cultures légumières.

De manière globale, toutes ces études confirment le bien fondé de cette pratique qui donne des résultats intéressants tant d'un point de vue agronomique qu'économique tout en

garantissant, si l'irrigation est pratiquée de manière adéquate, une qualité sanitaire satisfaisante.

Les essais réalisés sur agrumes ont montré une efficacité de l'eau usée accrue par rapport à l'eau de puits, ils ont aussi démontré l'efficacité de l'irrigation souterraine par jarre qui, non seulement permet d'obtenir les mêmes résultats, elle présente également un impact favorable sur la protection de l'environnement et des cultures d'un point de vue sanitaire.

Les eaux usées et même les affluents issus du traitement secondaire sont riches en éléments minéraux nécessaires à la croissance des plantes (azote, phosphore, potassium). Des expériences ont montré à maintes reprises la productivité accrue des cultures ou des arbres lorsqu'ils sont irrigués avec des eaux usées par comparaison avec de l'eau propre. Ces éléments fertilisants sont une ressource extrêmement précieuse si on les compare aux coûts correspondants des engrais.

Les principaux avantages qui peuvent découler d'une réutilisation des eaux usées épurées dans le domaine agricole nous citons :

### **I.6.1. Avantages environnementaux**

Lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt que toute autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

- ◆ La suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs.
- ◆ La conservation des ressources en eau fournit des avantages à l'utilisation telles que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage récréatif.
- ◆ La sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin.
- ◆ La possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion.

### **I.6.2. Avantages économiques**

Du point de vue économique, la réutilisation des eaux traitées en irrigation contribuerait à l'amélioration de la situation économique auprès des agriculteurs. En fait, la disponibilité des eaux permettrait aux agriculteurs de limiter le risque de la sécheresse qui affecte souvent la récolte, pour ce qui est de l'agriculture dite « classique » basée principalement sur les précipitations. L'augmentation des récoltes est l'autre facette positive de cette réutilisation, en raison de la disponibilité des eaux pendant toutes les périodes de l'année à cause de la production quotidienne des eaux usées, ce qui encouragerait les agriculteurs à augmenter le niveau d'irrigation et les variétés de cultures. Un autre avantage est, cette fois, en lien avec les coûts liés à l'utilisation des engrais.

### **I.6.3. Avantages sociaux**

Du côté des avantages sociaux, l'irrigation serait avantageuse pour les agriculteurs, parce qu'elle créerait de l'emploi, limiterait la migration rurale vers les grandes villes et améliorerait la qualité de vie. En fait, le développement de l'irrigation et l'augmentation des rendements agricoles influenceraient d'une manière positive le niveau de vie dans la région.

### **I.6.4. Les types d'irrigations**

#### **I.6.4.1. Irrigation à la raie**

L'irrigation par submersion et l'irrigation à la raie sont les deux techniques traditionnelles d'irrigation. L'irrigation par submersion, très grosse consommatrice d'eau. L'irrigation à la raie est beaucoup plus pratiquée. Elle a fait l'objet tout récemment d'effort de modernisation [6].

#### **I.6.4.2. L'aspersion**

L'eau est fournie aux plantes sous forme de pluies artificielles issues d'appareils d'aspersion alimentés en eau sous pression. Cette technique ne nécessite aucun nivellement de la surface irriguée et assure l'aération du sol. Ce mode d'irrigation permet un dosage précis des apports, d'où une économie d'eau. Il a le gros avantage d'assurer une bonne homogénéité de la répartition des apports.

C'est une des méthodes permettant d'arroser convenablement des sols très perméables. Elle exige une adaptation de la qualité microbiologique de l'eau recyclée à la nature des cultures arrosées [6].

#### **I.6.4.3. L'irrigation localisée**

L'eau est distribuée à faible débit dans un réseau sous pression qui est à même le sol ou suspendu ou encore partiellement souterrain. Le réseau est constitué de rampes souples ou demi dures, perforées ou munies, à intervalles variables selon les cultures, de dispositifs distributeurs, tels que ajutages, goutteurs, mini-diffuseurs.

La distribution est fréquente ou contenue, ce qui permet de maintenir humide la zone entourant les racines, sans pertes entre les plantes.

Cette technique permet de :

- limiter les percolations profondes.
- réduire la levée et la croissance des mauvaises herbes
- limiter les risques de contamination par les maladies [6].

#### **I.6.4.4. L'irrigation souterraine**

L'irrigation souterraine fonctionne à l'inverse du drainage : l'eau est envoyée sous légère pression dans des drains enterrés et remonte par capillarité. Cette technique permet de

- Garder la partie supérieure du sol sèche.
- Diminuer les risques d'accumulation des sels.

L'irrigation souterraine semble prometteuse pour l'utilisation d'eaux usées en irrigation, ces eaux doivent être filtrés ou décantés afin d'éviter le colmatage des tuyaux enterrés.

Ces derniers devront d'autre part être purgés périodiquement [6].

## I.7. Caractéristiques de l'eau d'irrigation

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

La qualité de l'eau d'irrigation peut être déterminée par une analyse chimique en laboratoire. Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants:

Cinq principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation :

- ◆ **Salinité** : Contenu total en sels solubles
- ◆ **Sodium**: Proportion relative des cations sodium ( $\text{Na}^+$ ) par rapport aux autres.
- ◆ **Alcalinité et dureté** : Concentration d'anions Carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) en relation avec la concentration en calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et en magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )
- ◆ **Concentration** en éléments qui peuvent être toxique
- ◆ **PH** de l'eau d'irrigation

Les deux premiers critères sont d'importance majeure car un excès de sels augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plants flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration [4].

### I.7.1. La salinité

Elle est représentée par la concentration des ions calciums  $\text{Ca}^{2+}$ , magnésiums  $\text{Mg}^{2+}$  sodiums  $\text{Na}^+$ , chlorures  $\text{Cl}^-$  sulfates  $\text{SO}_4^{2-}$  et bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$  Une salinité élevée traduit de la présence d'une grande quantité d'ions en solution, ce qui amènerait à causer des dégâts irréversibles vis-à-vis des plantes comme les brûlures racinaires.

La salinité étant mesurée par le taux de matières dissoutes totales (MDT) en mg/L. Elle est mesurée également par la conductivité électrique en mS/cm ( millisiemens/centimètre) où  $1\text{dS/m} = 640\text{ ppm de sel}$  [20].

Richards cité dans Faby (1997), a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique (tableau II.1).

**Tableau I.1** : Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Sels solubles correspondants estimés en NaCl (mg/l)
Excellente	< 250	< 160
Faible salinité	250 - 750	160 - 500
Forte salinité	750 – 2250	500 – 1500
Très forte salinité	2250 – 5000	1500 – 3600

### I.7.2. le ratio d'absorption du sodium

Le sodium qui provient de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation est un élément indésirable dans l'eau d'irrigation. En grande quantité il a des effets sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau.

De grande quantité de sodium combiné avec du chlorure donne à l'eau un goût salé.

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (SAR). Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calciums et magnésiums, qui eux, peuvent être tolérés en quantité relativement grande dans l'eau d'irrigation.

#### ❖ Calcul du SAR :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (\text{me/l})$$

Avec  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  étant exprimés en meq /l.

➤ **Eau de SAR > 9** : pas utilisable.

Un usage continu d'eau avec un SAR élevé provoque une déstructuration du sol.

➤ **Eau de 0 < SAR < 6** : utilisable sur tous les types de sols.

Quand le SAR se situe entre 6 et 9, les risques de problèmes liés à la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être analysé tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol.

➤ **Eau de  $6 < \text{RAS} < 9$**  : risque d'imperméabilité élevé.

Les problèmes dus au sodium sont aussi reliés à la concentration totale en sel de l'eau d'irrigation. Par conséquent, des eaux d'irrigation avec des salinités entre 1,5 et 3,00 mS/cm et un RAS au-dessus de 4 doivent être utilisées avec prudence. Des échantillons de sols doivent être prélevés annuellement afin d'éviter d'éventuels problèmes de salinité des sols [4].

**Tableau I.2** : Influence de la salinité et du SAR sur le taux d'infiltration

	SAR					Influence sur le taux d'infiltration
	0-3	3-6	6-12	12-20	20-40	
Salinité de l'eau (mS/cm)	> 0,7	> 1,2	> 1,9	> 2,9	> 5	Nulle
	0,7	1,2	1,9	2,9	5	Faible
	0,2	0,3	0,5	1,3	2,9	Modérée
	< 0,2	< 0,3	< 0,5	< 1,3	< 2,9	Sévère

Source :(Catherine B et al, 2009)

### I.7.3. L'Alcalinité et la dureté

L'alcalinité est la mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, c'est un peu comme le pouvoir tampon de l'eau. Elle correspond aussi à la mesure de la résistance à tout changement de pH.

Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué à la présence des bicarbonates de calcium et de magnésium ou également mais en moindre mesure aux hydroxydes, bases organiques, borates ou ions ammonium. L'alcalinité est exprimée en ppm (mg/L) de carbonates de calcium  $\text{CaCO}_3$ . Pour corriger l'alcalinité, il est nécessaire de rajouter de l'acide, qui va abaisser le pH et ainsi libération des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  et les rendre disponible pour les plantes.

La dureté de l'eau fait référence à la quantité de calcium et magnésium contenu dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche mère.

Une eau dure n'est pas souhaitable pour une utilisation domestique car elle réduit l'efficacité du savon par contre, en agriculture, une eau dure aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques. La dureté est exprimée sous forme d'équivalent de carbonates de calcium en  $\text{CaCO}_3$  (ppm ou mg/L) [4].

**Tableau I.3 :** Degré relatif de dureté de l'eau selon la quantité de carbonate de calcium

Dureté (ppm CaCO <sub>3</sub> )	Degré relatif de dureté
0-50	Très douce
50-100	Douce
100-200	Modérément douce
200-300	Dure
300 et plus	Très dure

Source : Couture I, 2006.

#### I.7.4. Eléments toxiques

Les éléments toxiques les plus dangereux et notamment à surveiller ; sont le Bore, le Sodium et le Chlore.

**Le Bore** en excès dans une eau peut être associé à la présence de puits en profondeur. Une eau d'irrigation contenant 1 ppm de Bore cause une accumulation toxique pour les cultures sensibles.

**Les chlorures** causent des dommages lorsque la quantité est élevée surtout pour les eaux d'irrigation par aérosol.

**Sulfates** ; il y a carence si la teneur est inférieure à 48 ppm

#### I.7.5. Le pH

Lié à la concentration des ions (H<sup>+</sup>) en solution, Plus la concentration en (H<sup>+</sup>) augmente plus le pH est bas.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5.5 et 6.5 ; le domaine de pH où la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale. Pour abaisser le pH, on injecte de l'acide, généralement on utilise de l'acide sulfurique [4].

### I.8. Les normes de qualité de l'eau d'irrigation

La réutilisation des eaux pour l'irrigation n'est possible que si les eaux usées sont traitées selon certaines normes de qualité. La définition de normes et d'une réglementation spécifique est indispensable pour toute politique de mise en œuvre d'une réutilisation durable.

Ces normes devront préciser la qualité physico-chimique et micro biologique des eaux épurées afin de garantir la protection de la santé humaine et la préservation de l'environnement.

La FAO (Food and Agriculture Organisation) a établi des directives pour l'interprétation de la qualité physicochimique de l'eau pour l'irrigation et des limites recommandées en éléments traces métalliques dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation dans lesquelles

l'accent était mis sur l'influence à long terme de la qualité de l'eau. Ces directives générales sont présentées dans les tableaux (II.4), et

**Tableau I.4 :** 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
<b>Salinité</b>				
CE	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
<b>Infiltration</b>				
SAR = 0-3 et CE =	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
<b>Toxicité Spécifique des ions</b>				
Sodium (Na <sup>+</sup> )				
Irrigation de surface	SAR (méq/l)	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion		< 3	> 3	
<b>Chlorure (Cl<sup>-</sup>)</b>				
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
<b>Effets divers</b>				
Azote (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> )	méq/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
<b>pH</b>	Gamme normale 6,5 - 8,4			
CE: conductivité électrique; TDS: total dissolved solids; SAR: rapport d'absorption du sodium				

### I.9. Les types de traitement selon le mode de réutilisation

La technique d'épuration dépend de l'usage final de l'eau usée. Le tableau de la figure suivante résume les traitements (intensifs et extensifs) selon le mode de réutilisation qui sont évidemment conformes aux normes [5].

**Tableau I.5:** Procédés d'épuration pour usages principaux

Mode de réutilisation	Traitement extensif	Traitement intensif
<b>Irrigation de cultures bien définies (arbres fruitiers, légumes cuits):</b>	bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation	boues activées ou filtre biologique avec désinfection
<b>Irrigation de cultures sans restrictions, légumes consommés crus</b>	bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation avec désinfection finale dans réservoirs de stockage.	boues activées ou filtre biologique avec filtration poussé et désinfection
<b>Utilisation urbaine pour l'irrigation de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf</b>	bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation avec désinfection finale dans réservoirs de stockage.	boues activées ou filtre biologique avec filtration et désinfection en cas d'accès libre du public
<b>Restauration des nappes phréatiques</b>	bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation avec désinfection finale dans réservoirs de stockage et filtration dans le sol vers l'aquifère	boues activées ou filtre biologique avec filtration et désinfection et élimination des nutriments (si nécessaires)
<b>Réseaux doubles pour recyclage des eaux grises en immeubles</b>	Non applicable	boues activées ou filtre biologique avec filtration sur charbon actif (si nécessaire) ou filtration sur membrane et désinfection
<b>Utilisation directe ou indirecte dans le réseau d'eau potable</b>	Non applicable	Traitement secondaire, tertiaire et avec charbon actif, filtration sur membrane et désinfection poussée

### I.10. Réglementation de la réutilisation des eaux usées épurées dans le monde

La réutilisation des eaux usées épurées soulève la question des risques sanitaires et du traitement adéquat à apporter pour éliminer les polluants et les contaminants présents.

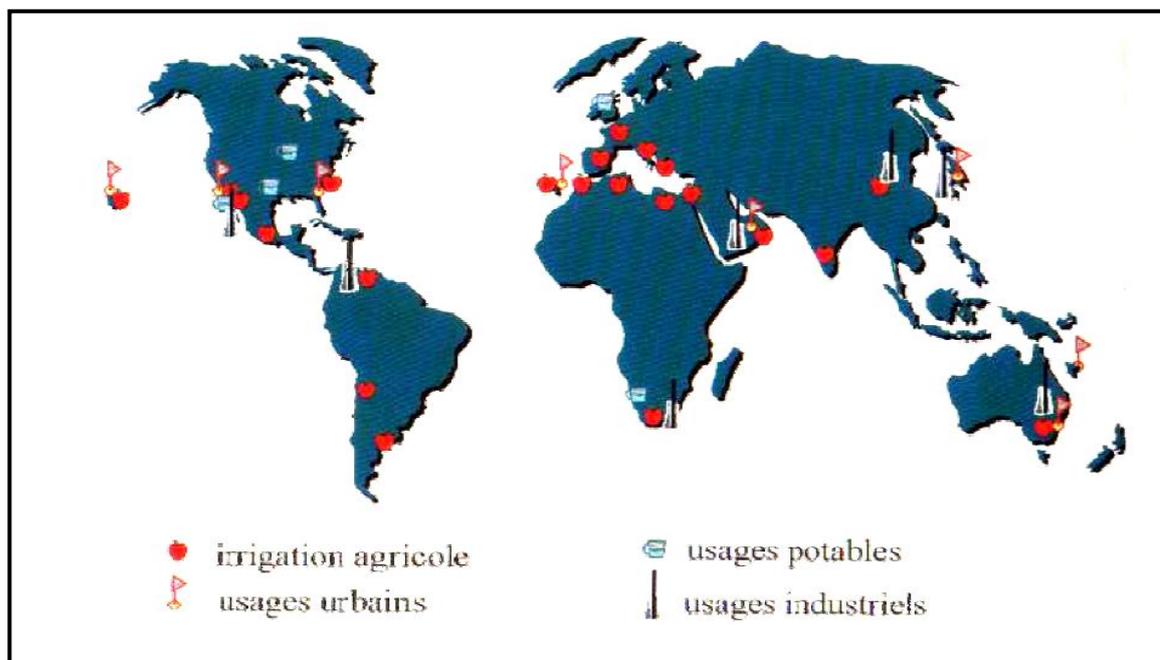
Chaque pays élabore ses propres normes, en associant protection de l'environnement et de la santé publique. En vu de l'absence de la norme algérienne concernant l'eau d'irrigation on est obligé de se référer au trois réglementations de référence :

- Les normes de l'OMS de 1989 ;
- California Water Recycling Criteria (Title 22) de 1993;
- Les normes de la FAO de 1985.

### I.11. La réutilisation des eaux usées épurées agricole dans le monde

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concerne des utilisations agricoles. L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines. Au niveau mondial, c'est également la solution qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme (Ecosse D, 2001).

Les projets de REUE se concentrent autour du bassin méditerranéen et dans les pays industrialisés, en Europe, aux États-Unis ou encore en Australie. Certains pays comme la Tunisie ou Israël ont de véritables politiques nationales de réutilisation des eaux usées épurées.



**Figure II.2 :** Répartition par usage et localisation des expériences mondiales les plus importantes en REUE

La Tunisie a développé un programme de réutilisation des eaux usées épurées dès les années soixante. Dans ce pays, l'augmentation de la population et du niveau de vie ont accru à

la fois les besoins en eau et les rejets d'eaux épurées dans le milieu naturel. Les politiques se sont donc trouvées face à une crise économique et écologique dans certaines régions. La première utilisation d'eaux épurées a eu lieu aux alentours de Tunis, pour irriguer 600 ha de citronniers. La nappe qui alimentait autrefois les circuits d'irrigation avait été surexploitée et commençait à être envahie par l'eau de mer. Il a donc fallu trouver une solution alternative. Puis, à partir des années quatre-vingt, une politique ambitieuse de réutilisation a été mise en place. En 1993, 6 400 ha de terres agricoles étaient irriguées avec des eaux épurées, et ce chiffre devait atteindre 20 à 30 000 ha dans les années suivantes (Asano, 1998 cité dans Baumont, 2004). Le traitement préconisé est le bassin de maturation, le plus adapté aux conditions techniques et économiques locales. Les restrictions d'utilisation ne concernent que les légumes destinés à être consommés crus ou cuits, selon la réglementation tunisienne établie en 1989 (Puil, 1998 cité dans Baumont, 2004).

Aux Etats-Unis, la réutilisation agricole est une pratique très répandue, 34 états disposent de réglementations ou de recommandations souvent très sévères. Ces mesures législatives, et plus de trente ans d'expérience, font des Etats-Unis un pays phare au plan mondial dans le domaine de la réutilisation des eaux usées. En Floride et en Californie, respectivement 34 % (340 000 m<sup>3</sup>/j) et 63 % (570 000 m<sup>3</sup>/j) du volume total d'eaux usées réutilisées le sont pour l'agriculture (Écosse, 2001).

Au Mexique, en 1996, les eaux usées brutes (non traitées) de Mexico étaient utilisées pour irriguer 85 000 hectares de maïs, d'orge et de tomates, dans ce qui constituait le plus grand plan d'irrigation au monde. Les critères sanitaires de la réglementation ont depuis changé, ce qui est heureux au vu de l'étude épidémiologique réalisée dans cette région mettant en évidence une augmentation des maladies intestinales liées à l'irrigation par ces eaux brutes (Puil, 1998 cité dans Baumont, 2004).

Des pays comme la Grèce, le Portugal, l'Italie, l'Espagne ont des programmes plus ou moins avancés de REUE pour l'agriculture. En Europe du nord, l'Allemagne et la Hongrie utilisent les eaux épurées pour irriguer des céréales, des pommes de terre, etc. mais à moindre échelle.

Notons que, mis à part le cas exceptionnel de Mexico, aucun des rapports concernant ces différents cas de réutilisation ne fait état de problèmes sanitaires (Baumont, 2004).

### **I.12. La Réutilisation des eaux usées en Algérie**

La réutilisation des eaux usées traitées longtemps délaissée, en raison de l'état défectueux du parc de stations d'épuration qu'il a fallu réhabiliter, est devenue un axe important de la nouvelle politique de l'eau. Avec la remise en état des anciennes STEP et la construction de nouvelles stations, plusieurs projets d'irrigations à partir des eaux usées traitées sont en cours d'études ou déjà réalisés.

La stratégie nationale en matière de réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation a trois objectifs :

- ✓ économiser et préserver les ressources en eaux traditionnelles,

- ✓ accroître les superficies irriguées
- ✓ et participer à l'augmentation de la production agricole.

**Tableau I.6 :** Volumes d'eau usée rejetés en Algérie (MRE, 2003[22]).

Type d'agglomération	Volume d'eau usée rejeté en millions de m <sup>3</sup>	
	1995	Horizon 2020
Cotieres	169	282
Amont des barrages	48	122
Proches des perimetres	62	143
Autres	149	352
20 000 hab -50 000 hab	122	251
Total	550	1 150

L'Algérie enregistre un déficit pluviométrique qui conduit à un faible taux de remplissage des barrages. L'irrigation se basant principalement sur l'apport des barrages s'en voit menacée, d'ailleurs elle n'est satisfaite qu'à 25% [7].

La REUE est une solution à ce problème. Celle-ci est destinée, en Algérie, uniquement à l'irrigation.

La mobilisation des eaux usées épurées n'est pas très répandue. Néanmoins, plusieurs projets sont en réalisation.

En 2005, les stations d'épuration (STEP) en exploitation étaient au nombre de 29 (22 à boues activées, 7 lagunage). Le reste constituait :

- ✓ 22 STEP en réalisation
- ✓ 11 STEP en cours de réhabilitation
- ✓ STEP en cours d'étude de diagnostic pour la réhabilitation
- ✓ STEP en projet (Programme 2006-2009)

La capacité d'épuration des stations en exploitation était de l'ordre de 195 millions de m<sup>3</sup>/an, mais ces stations fonctionnent en dessous de leurs capacités, ce qui ramène le volume d'eaux épurées à 100 millions de m<sup>3</sup>/an.

Voici quelques chiffres du Ministère des Ressources en Eau :

- **Réutilisation directe :**

Le seul ouvrage existant est celui situé à l'aval de la station d'épuration de Bordj Bou Arreridj d'une capacité de 2 500 m<sup>3</sup>/j destiné à l'irrigation d'un périmètre d'une superficie de près de 100 ha.

Selon le programme 2009-2013, ce volume sera de 554 512 m<sup>3</sup>/j

### **I.12.1 Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées en Algérie**

La loi n°05-12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation.

Le décret n°07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges y afférent :

Concession à travers un cahier des charges à toute personne morale ou physique de droit public ou privé.

- Qualité spécifique fixée par arrêté (santé, eau, agriculture)
- Cultures fixées par arrêt (santé, eau, agriculture)
- Contrôle sanitaire (personnel, produit agricole, sol)
- Dispositions financières (redevance pour la concession, tarif pour la fourniture d'eaux usées épurées) [7].

### **I.13. Les différents aspects liés à l'utilisation des eaux usées**

#### **I.13.1 Aspects sanitaires**

Les risques sanitaires liés à l'utilisation des eaux usées doivent être évalués par rapport aux différents groupes d'agents pathogènes et aussi par rapport aux groupes sociaux cibles à savoir :

- Les professionnels de l'épuration et leurs familles.
- Les agriculteurs et leurs familles.
- Les consommateurs de produits agricoles issus de champs de réutilisation des eaux usées.

D'une manière générale, on avait assisté par le passé à la confusion entre danger potentiel et risque réel, ce qui avait conduit à l'application de recommandations biologique trop sévère qui a pour effet une restriction de l'utilisation des eaux usées.

En 1985, lors de la réunion d'Engelberg (suisse), les experts ont rehaussé les valeurs limites, avec l'espoir d'une mentalisation (surtout dans les pays en voie de développement ou l'eau fait habituellement défaut) des eaux usées pour l'agriculture et l'aquaculture.

Ces recommandations devraient se baser principalement sur la destination des produits de récolte. Les cultures dont les produits sont destinés à être consommés à l'état frais ne se placent pas sur le même niveau de danger que les cultures à produits consommables exclusivement à l'état cuit.

Il en est de même pour l'irrigation d'espaces vert ou de forêts.

Les nombres guides retenus par l'OMS sont :

- ✓ L'élimination complète (ou quasi) des helminthes intestinaux, avec une moyenne inférieure à 1 œuf par litre d'eau.
- ✓ Une élimination très importante des bactéries pathogènes (provoquent des maladies) avec une valeur moyenne inférieure à 1000 coliformes fécaux dans 100 ml d'eau.

Ces deux mesures sont de stricte application pour les cultures à diffusion large.

L'effluent produit qui respecte les 2 conditions susmentionnées est défini par l'OMS comme pouvant être utilisé en irrigation sans restriction.

En plus, il y a d'autre exigence à respecter

- ✓ Absence de salmonelles par 5 litres d'eau ;
- ✓ Absence des vibrions colériques par 450 ml d'eau

### **I. 13.2. Aspect économiques et financiers**

Ces aspects doivent tenir compte du cout de production de l'eau comme alternative à l'utilisation d'une eau conventionnelle, de l'impact de l'utilisation des eaux usées sur l'environnement notamment, sur la qualité et la quantité des eaux des ressources en eaux souterraines ou de surface.

Un certain nombre de mesures de prévention doivent être mises en œuvre dans le cadre de tout projet de réutilisation :

- ✓ Choix du système d'irrigation le plus apte à réduire les risques sanitaires.
- ✓ Vaccination des groupes sociaux cibles.
- ✓ Pour les agriculteurs, il a lieu de se conformer à une éducation sanitaire rigoureuse : (port bottes, gents...).
- ✓ Implantation des projets loin des agglomérations.
- ✓ Choix des cultures

### **I.14. Conclusion**

La réutilisation constitue une véritable alternative qui peut compenser le déficit existant dans le domaine des ressources en eaux conventionnelles. Cela est un point très intéressant surtout dans un pays semi-aride et aride comme l'Algérie, qui souffre de la rareté de cette ressource vitale et qui dispose d'un volume considérable en matière des eaux usées.

# **Chapitre II**

Valorisation des sous-  
produits d'épuration

## II.1. Introduction

L'épuration des eaux usées consiste à décanter les éléments polluants particuliers et à extraire les éléments dissous qui sont transformés en matière sédimentable suite à un traitement approprié. Ainsi, à la sortie de la station il en résulte d'une part une eau épurée rejetée dans le milieu naturel, et d'autre part, il reste des sous-produits désignés sous le terme des boues résiduaires. Les divers procédés d'épuration des eaux usées actuels entraînent une production plus ou moins importante de boues résiduaires. La matière solide de ces résidus contient à la fois des éléments naturels valorisables et des composés toxiques en relation avec la nature des activités raccordées au réseau d'assainissement, industrielles ou domestiques. L'épandage direct de ces boues se heurte à de fortes résistances de l'opinion concernant les risques sanitaires éventuels qu'implique cette pratique du fait de la présence d'agents pathogènes, d'éléments traces métalliques et de composés organiques toxiques. Afin de préserver les productions agricoles et l'environnement, l'innocuité des boues passe par le respect de normes d'épandage ou par l'utilisation de produits dérivés de celles-ci par voie chimique ou biologique [8].

Dans le but de valoriser ces déchets, on doit trouver un moyen pour optimiser leur gestion et de bénéficier de ces sous-produit surtout dans le domaine d'agriculture.

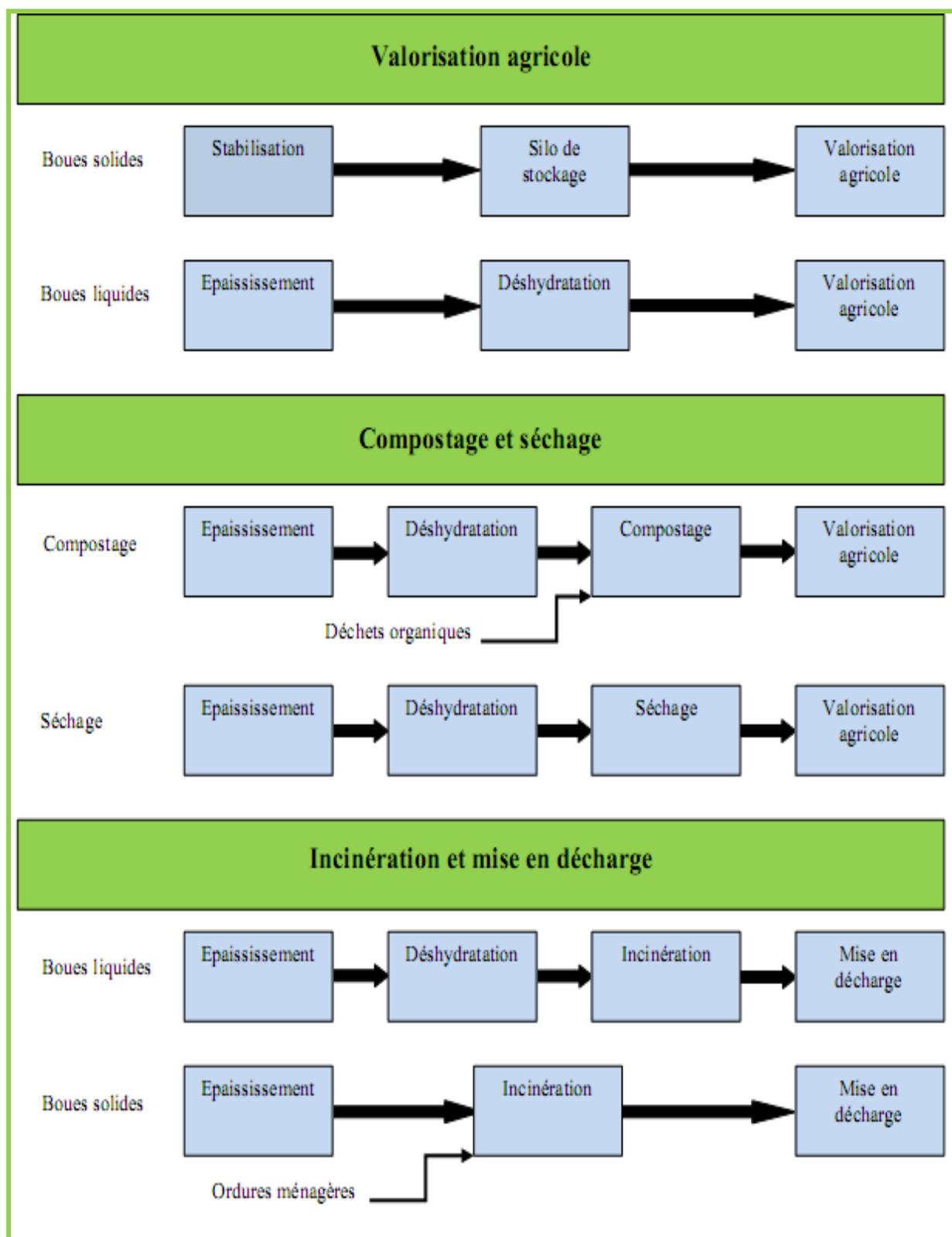
## II.2. Les différentes filières de traitement des boues

Les boues résiduaires se présentent sous une forme liquide et avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont gênantes et posent beaucoup de problèmes techniques pour leur évacuation « quelque soit la destination », parmi lesquels leur transport et leur stockage qui conduisent souvent à des problèmes de manipulation et des nuisances olfactives. Ceci impose le choix d'une filière de traitement dès l'installation de la STEP.

Généralement, le traitement des boues présente deux objectifs :

- La stabilisation pour empêcher ou réduire les problèmes de fermentation et d'éviter ainsi les nuisances olfactives. La stabilisation peut être biologique par voie aérobie (compostage) ou anaérobie (méthanisation) ou chimique (chaulage ou autres traitements) (Office International de l'Eau, 2001). La stabilisation biologique présente l'avantage de limiter l'évolution ultérieure de la composition des boues.

- La **déshydratation** et la concentration des boues qui a pour objectif de réduire leur volume (plus de 97 % d'eau) par épaissement et/ou par déshydratation pour faciliter par la suite leur transport et leur stockage. Un conditionnement est souvent utilisé en amont pour favoriser la séparation liquide-solide à l'aide de flocculants organiques de synthèse ou minéraux.



**Figure II.1** : Principales étapes de traitement et destinations des boues

## II.3 Caractéristiques des boues

### II.3.1. La teneur en matière sèche (siccité)

Les boues sont constituées d'eau et de matières sèches. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 %. Selon la puissance du procédé de séchage utilisé, épaissement, déshydratation ou séchage thermique, on obtient des boues à différents pourcentages de siccité : Boues liquides (4 à 10 %), Boues pâteuses (10 à 25), Boues solides (25 à 50 %), Boues granulées ou en poudre pour une siccité supérieure à 85 % [9].

### II.3.2. La teneur en matière volatile

On mesure cette teneur par la différence entre le poids de boues sèches (105°C) et celui de cette même boue après chauffage jusqu'au poids constant à 550°C, cette teneur varie de 60 à 85% des matières sèches [9].

### II.3.3. Teneur en eau

L'eau présente 95% de la masse de la boue. Dans une boue urbaine elle est sous deux états:

- l'eau libre : assez facilement éliminable par filtration ou décantation,
- l'eau liée ou combinée : comprenant: l'eau d'hydratation colloïdale, l'eau capillaire et enfin l'eau chimique liée. Cette eau ne peut être éliminée que par la chaleur (conditionnement thermique, séchage ou incinération) [9].

### II.3.4. La viscosité

Les boues ne sont pas des liquides newtonien, on mesure leur viscosité en fonction de la contrainte de cisaillement (viscosité de Bingham), cette viscosité permet de définir leurs caractères thixotropiques (aptitude à se prendre en masse au repos et devenir fluide après brassage) qui est important pour leur transport [9].

### II.3.5. La charge spécifique

Ce paramètre permet de mesurer l'aptitude à la décantation des boues, il est exprimé en (Kg/m<sup>2</sup>/j).c'est la quantité de la matière sèche décantée sur l'unité de surface, cette charge dépend de la teneur en matière volatil [9].

### II.3.6. La résistance spécifique

Il s'agit de mesure l'aptitude à la filtration des boues sous une pression donnée, selon Mathian (1986), cette résistance s'exprime en m/kg) [9].

### II.3.7. La compressibilité

Lorsqu'on fait croître la pression au dessus d'un filtre, on obtient un écrasement du gâteau et une augmentation de la résistance à la filtration, la représentation logarithmique de la résistance spécifique en fonction de la pression augmente et atteint des valeurs de l'ordre de

10 bars, la filtration de l'eau contenue dans les boues est pratiquement bloquée, on atteint alors la siccité limite [9].

### II.3.8. Les pouvoirs calorifiques

Les teneurs en matières organiques des boues leur donne une aptitude à la combustion non négligeable qui permet de les incinérer [9].

## II.4. Composition des boues résiduaires

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration. Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (Matière organique, éléments fertilisants (N et P ...), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes) [8].

### II.4.1. Les éléments utiles (intérêt agronomique)

La valorisation des boues en agriculture est intéressante, tant par les quantité de matière organique qu'elles contiennent que par la présence en quantité appréciable d'éléments fertilisants. Grâce aux apports de matières organiques et de calcaire ,la fertilisation avec des boues d'épuration contribue à une amélioration de la qualité physique ,chimique et biologiques des sols.

#### II.4.1.1. Matière organique

La matière organique contenu dans la boue sert de source d'énergie aux microorganismes du sol qui, en la transformant (c'est-à-dire en la décomposant), libèrent des éléments nutritifs et du CO<sub>2</sub> nécessaires à la croissance des plantes. Celles-ci retournent au sol la matière organique sous forme de résidus culturels, de feuilles, de racines mortes et le cycle est bouclé.

Le sol contient 2-3 kg/m<sup>2</sup> de biomasse. L'activité biologique de cette biomasse participe à des phénomènes tels que la structure du sol et sa porosité, la perméabilité du sol, la lutte contre le lessivage des éléments nutritifs ou l'érosion voire encore la disponibilité de certains éléments nutritifs comme le P ou le K

**Le rapport C/N** ou rapport carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol:

- $C/N < 15$  : production d'azote, la vitesse de décomposition s'accroît ; elle est à son maximum pour un rapport  $C/N = 10$ ,
- $15 < C/N < 20$  : besoin en azote couvert pour permettre une bonne décomposition de la matière carbonée,
- $C/N > 20$  : Pas assez d'azote pour permettre la décomposition du carbone (il y a compétition entre l'absorption par les plantes et la réorganisation de la matière organique par les microorganismes du sol, c'est le phénomène de "faim d'azote"). L'azote est alors prélevé dans les réserves du sol. La minéralisation est lente et ne restitue au sol qu'une faible quantité d'azote minéral [10].

Il est couramment admis que, plus le rapport C/N d'un produit est élevé, plus il se décompose lentement dans le sol mais plus l'humus obtenu est stable.

#### **II.4.1.2. Eléments fertilisants**

Le recyclage des boues en agriculture se justifie d'abord par leur valeur agronomique. Ils sont sources d'éléments fertilisants nécessaires aux plantes (N, P, K, oligo-éléments). En fonction de leur composition chimique, les épandages de boues apportent aux sols des quantités d'éléments fertilisants équivalentes à une fertilisation minérale classique. Ils sont alors utilisés, au moins en partie en substitution, d'engrais à prix en forte croissance comme les engrais azotes. Dans le cas du phosphore, le recyclage ajoute une valeur complémentaire, liée au fait que le phosphore est une ressource limitée et non renouvelable.

#### **II.4.2. Les éléments indésirables**

Parmi ceux-ci on distingue les éléments traces métalliques (ETM), les composés traces organiques (CTO) et les micro-organismes pathogènes, pouvant porter atteinte à la santé et à l'environnement.

##### **II.4.2.1. Contaminants chimiques inorganiques et organiques**

Ces mêmes éléments traces métalliques (cuivre, le zinc, le chrome et le nickel) indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses. D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels. Ainsi, un polluant peut être défini comme un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. Aussi, dans les boues, une multitude de polluants peut se trouver en concentrations en général de l'ordre de (  $\mu\text{g}/\text{kg MS}$  )

La nature et la concentration des eaux usées en polluants organiques et inorganiques sont très dépendantes des activités raccordées au réseau. L'essentiel des contaminations chimiques vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de bricolage...). Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées

**Tableau II.1 :** Concentration des éléments traces métalliques dans la boue

<b>Elément-trace</b>	<b>Valeur moyenne* observée (en g/T MS)</b>	<b>Valeur-limite réglementaire**</b>	<b>En % de la valeur réglementaire</b>
Cadmium (Cd)	2,5	10	25
Chrome (Cr)	50	1 000	5
Cuivre (Cu)	330	1 000	33
Mercure (Hg)	2,3	10	23
Nickel (Ni)	40	300	13
Plomb (Pb)	90	800	12
Sélénium	10	/	/
Zinc (Zn)	800	3000	32
Cr +Cu+ Ni+Zn	1 220	4 000	30

### ***II.4.2.2. Les micro-organismes pathogènes***

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration. Seul une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux

La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine: les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées. Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost. D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture

## **II.5. Technique de traitement des boues selon leur utilisation**

### **II.5.1. Les boues peuvent être chaulées**

Le chaulage consiste à mélanger des boues, préalablement déshydratées à de la chaux vive. La réaction exothermique qui s'ensuit ainsi que l'élévation du pH contribuent à une hygiénisation du milieu, à une augmentation de la siccité de la boue (diminution de la teneur en eau) et donc à une manutention plus aisée (stockage, reprise, épandage).

Une boue chaulée représente un excellent amendement calcaire pour les sols acides.

### **II.5.2. Les boues peuvent être compostées**

Le compostage consiste à développer une fermentation aérobie dans un milieu constitué d'un mélange de boues avec un substrat carboné du type écorces, plaquettes de bois, déchets verts ligneux, rafles de maïs, etc.

Après fermentation, maturation et criblage le résultat est l'obtention d'un compost qui est un excellent amendement organique, hygiénisé, facile à stocker et à manipuler.

### **II.5.3. Les boues peuvent être séchées**

Le séchage fait intervenir deux techniques :

- ❖ soit par action du soleil sur des boues placées sous serre, préalablement déshydratées mécaniquement. Ce procédé connaît un récent développement et concerne surtout les usines d'épuration de petite et moyenne capacité ;
- ❖ soit par action de la chaleur de manière directe, indirecte ou mixte, selon le type de sécheur. Ce traitement est plutôt réservé aux usines d'épuration de plus grande capacité ;
- ❖ L'intérêt du séchage (réduction des volumes, réduction des odeurs, meilleure manutention) est d'élargir l'éventail des solutions pour les boues et d'en faciliter leur utilisation et l'accès aux filières agronomiques et énergie-matériaux.

## II.6. Valorisation des boues résiduaires

On distingue globalement deux filières de valorisation :

- ♦ **la valorisation agronomique** pour les boues présentant un intérêt fertilisant et conforme aux exigences réglementaires d'innocuité. Cette filière permet le retour au sol de la matière organique et de ses composés fertilisants, réduisant d'autant l'utilisation d'engrais minéraux.
- ♦ **la valorisation énergie-matériaux** mettant en œuvre des traitements par incinération spécifique, co-incinération avec les déchets ménagers, oxydation par voie humide (OVH) ou, enfin, traitement en cimenterie. Cette filière permet de répondre aux objectifs de réduction de la production de gaz à effet de serre, en utilisant les boues comme combustibles renouvelables.

### II.6.1. La valorisation agronomique

La valorisation agronomique constitue la filière la plus utilisée depuis des décennies sans qu'aucune difficulté d'ordre sanitaire ou agronomique ne soit apparue, elle répond aussi parfaitement aux besoins de matières organiques et d'éléments fertilisants des sols mis en cultures, ainsi qu'aux critères du développement durable.

#### II.6.1.1. L'épandage agricole

La valorisation agronomique des boues sous forme brute, chaulée, compostée ou séchée est réalisée par épandage sur les sols.

Elle consiste en l'application au sol des boues à l'aide de matériels appropriés. Les conditions de mise en œuvre et de suivi étant parfaitement définies par un plan d'épandage (surfaces, stockages, filière de secours, etc.). L'épandage doit être effectué dans des conditions de transparence et de traçabilité parfaites.

Cet épandage peut concerner des boues liquides, mais pour des raisons réglementaires, cette pratique doit disparaître rapidement au profit de boues déshydratées mécaniquement ou provenant d'autres procédés (macrophytes par exemple).

L'épandage des boues ne peut être pratiqué que si celles-ci présentent un intérêt pour les sols ou pour la nutrition des cultures et des plantations.

Par leur composition, les boues, une fois épandues, augmentent le rendement des cultures. Elles contiennent des nutriments pour les cultures et servent d'amendement organiques et calciques pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, surtout si elles sont chaulées ou compostées. Des micro-organismes présents en grand nombre dans le sol digèrent en partie les matières organiques apportées par les boues et les transforment en éléments minéraux disponibles pour la plante. Une autre partie des matières organiques est incorporée au sol et contribue à l'entretien d'une structure favorable au développement des racines.

### II.6.1.2. Différentes méthodes d'épandage des boues

Les méthodes d'épandage se classent suivant le degré de siccité des boues.

♦ **Les boues liquides** : dont l'humidité est comprise entre 95% et 99% peuvent être répandues par aspersion ou par labourage. Ce mode d'épandage évite les opérations coûteuses de déshydratation et permet de disposer d'un produit riche en azote rapidement utilisable; il présente cependant un inconvénient: celui des transports des masses importantes d'eau. Ces boues fraîches liquides, susceptibles de présenter des problèmes d'odeurs, doivent être mélangées au sol immédiatement après l'application [10].

♦ **Les boues solides** : Elles sont épandues facilement avec des épanduses agricoles à fumier. Quelques fois, elles nécessitent un broyage avant leur utilisation car elles peuvent durcir au contact de l'air et composer de gros fragments. Il s'agit essentiellement de celles résultant d'un traitement thermique.

♦ **Les boues pâteuses** : leur consistance gélatineuse et leur tendance à coller les rend difficilement utilisables dans de bonnes conditions. Il est fortement conseillé de les sécher avant l'épandage ;

Les boues séchées reprennent difficilement l'humidité ce qui représente un inconvénient pour le sol.

Un autre problème, plus complexe à résoudre, est l'irrégularité des besoins; en effet l'épandage des boues liquides ne peut pas être effectué pendant toute l'année, mais seulement pendant la période végétative des cultures, alors que la production des boues est régulière. Ceci suppose une mise en réservoir de celle-ci dans les fosses à purin ou des lagunes à boues [10].



Figure II.2 : Méthodes d'épandage des boues

### II. 6.1.3 les étapes d'une valorisation par épandage agricole des déchets

Les déchets susceptibles de subir une valorisation agricole doivent en premier lieu faire l'objet d'une étude préalable et il convient donc de :

- Définir les caractéristiques des déchets (teneur en matière sèche, matière organique et azote, pH...) et leur aptitude à l'utilisation agricole (innocuité et intérêt agronomique ou nutritionnel),
- Analyser le contexte agricole et le milieu naturel (possibilités d'épandage sur les sols en question, besoins des agriculteurs, cultures aptes, climatologie.).  
Si la valorisation agricole est envisageable, trois conditions devront être respectées :
- Valoriser un déchet répondant aux critères d'innocuité et réduire les teneurs en éléments ou traces pathogènes, plastiques.
- Éviter les odeurs,
- Faciliter le stockage et l'épandage du déchet en augmentant la siccité de celui-ci ou en mettant en place un traitement complémentaire.

#### *II.6.1.4. L'action des boues sur les cultures*

Les boues contiennent certains éléments tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium, utiles à la croissance des plantes. Contrairement aux éléments minéraux apportés par les engrais de synthèse, et qui sont directement utilisable, la disponibilité des éléments fertilisant des boues comme celle du fumier ou du composte est dégradée et progressive.

Un apport de la matière organique a pour premier effet de favoriser la croissance des microorganismes et d'augmenter le pouvoir de rétention de l'Azote par le sol. La minéralisation ou l'immobilisation des éléments nutritifs est un facteur clé de la nutrition des plantes. Le rapport C/N est le rapport entre la teneur en carbone et la teneur en Azote d'une matière donnée [10].

Lorsque des microorganismes décomposent des matières à teneur élevée en C comme des résidus de coupe (p. ex., des rémanent), ils ont besoin d'un bon approvisionnement en N et P pour vivre et se développer. A mesure que les éléments nutritifs sont utilisés par les microorganismes, ils deviennent immobilisés dans la biomasse microbienne et ne peuvent être assimilés par les plantes.

Dans un sol pauvre en éléments nutritif, cette immobilisation pourrait provoquer des problèmes temporaires de nutrition chez les arbres tant que le premier stade de la décomposition ne sera pas terminé. D'autre part, en présence d'une abondante matière organique à rapport C/N relativement faible (c.-à-d. qu'il y a plus de N que de C à la disposition des microorganismes), il est possible de fournir des éléments nutritifs aux plantes beaucoup plus facilement et de réduire l'immobilisation par les décomposeurs.

- **C/N<10** : l'azote se minéralise, il est disponible pour les plantes, mais il risque d'être lessivé.
- **C/N-10** : un milieu stable, la teneur moyenne d'un sol ou d'un amendement évolué.
- **C/N>15** : la minéralisation de l'azote se produit difficilement et ou la concurrence pour l'azote minérale est très forte entre les microorganismes et les plantes. Un tel milieu présente une carence en Azote.

### ***II.6.1.5. Les avantages d'un épandage organique sur les terres agricoles par des boues d'épurations***

L'épandage agricole des boues d'épuration permet d'enrichir le sol en matière organique et en éléments fertilisants. Les avantages de l'utilisation de la matière organique dans le sol sont multiples :

#### **◆ Fournisseur de nutriments à effet fertilisant :**

Les boues d'épuration séchées contiennent en moyenne, une quantité plus ou importante de nutriments minéraux essentielles aux plantes.

#### **◆ Valorisation des sols par apport de matières organiques :**

vis à vis de la qualité physique du sol, les matières organiques sont le liant des particules minérales (argiles, limons et sables) à travers le complexe argilo-humique, et de ce fait, participent à la qualité de la structure du sol et à sa stabilité vis à vis des agressions extérieures (pluie, compaction entraînées par le passage d'engins agricoles, etc.).

- Le complexe argilo-humique, dont la structure est en feuillet, possède une charge négative qui a la capacité de fixer les cations présents dans la solution du sol ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , etc.) ;
- les matières organiques assurent le stockage et la mise à disposition pour la plante, par minéralisation, des éléments dont elle a besoin ;
- les matières organiques stimulent l'activité biologique du sol ;
- les matières organiques ont un rôle fondamental au niveau environnemental en retenant les micropolluants organiques et les pesticides. L'augmentation de leur temps de passage dans le sol permet d'améliorer leur dégradation par les microorganismes. Elles participent au maintien de la qualité du sol [11].

#### **◆ Ménagement des ressources globales :**

Les réserves en phosphore (mines) sont surexploitées, ce qui amènerait à leur épuisement d'ici 80 ans, alors que des réserves souterraines (sous les mers) sont disponibles mais leur exploitation serait très coûteuse et l'extraction du phosphore est presque impossible. En ce qui concerne l'azote et le potassium, la situation est moins critique mais la préservation des ressources est néanmoins une bonne chose.

#### **◆ Avantage économique :**

La fertilisation avec des boues d'épuration permet de contribuer à la réduction des coûts des engrais et des nutriments (fertilisants industriels). Cela permettra aussi de diminuer les volumes des déchets mis en décharge ou incinérés.

## **II.7. Conclusion**

Les sous-produits de l'épuration peuvent rapporter énormément de bénéfices dans de différents domaines, notamment l'agriculture. Mais il faut cependant bien les caractériser afin d'éviter les risques habituels de contamination des cultures ou autres. Une bonne valorisation passe par plusieurs stades permettant le traitement et la réduction du volume des déchets afin d'en obtenir un produit fini et utilisable.

# **Chapitre III**

Présentation de la STEP  
et  
Discussion des résultats

### III.1. Présentation de la wilaya de Jijel

La wilaya de Jijel se situe dans la partie Nord Est du pays à 356 km de la capitale Alger, à 96 km de Bejaia et 146 km de Constantine, la wilaya de Jijel couvre une superficie de 2 398 km. Elle est comprise entre les méridiens 5°25' et 6°30', à l'Est de Greenwich et entre les parallèles 36° 104 et 36°50' de l'hémisphère Nord. Elle est caractérisée par un climat méditerranéen pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été.

La wilaya de Jijel connaît un développement urbain rapide évalué en 2010 à environ 600 000 habitants qui engendre une évolution rapide tant à l'amélioration de l'alimentation en eau potable qu'à l'augmentation des volumes d'eau usée rejetée qui atteint 110000 m<sup>3</sup>/j en 2011. Par contre la population de la ville de Jijel a été estimée à 135 000 habitants (SCE ,2009) avec des volumes d'eau usée rejetée qui atteint 9400 m<sup>3</sup>/j.

La wilaya de Jijel est dotée d'une seule station d'épuration, cette dernière traite un volume annuel moyen de 2270040 m<sup>3</sup>/ans de la ville de Jijel et ces environs. Cette station d'épuration est gérée par l'office national de l'assainissement (ONA).

### III.3. Localisation de la station d'épuration d'Elrabta

La station d'épuration est située à l'Ouest de la ville dans la région d'Elrabta à 2 km du chef-lieu de la wilaya, elle occupe environ 5,9 hectares et a été mise en service en juin 2008 .

La station d'épuration est destinée à traiter les eaux usées d'origine domestique de la ville de Jijel et ses environs. Soit actuellement les rejets d'une population équivalente à 150 000 habitants en première phase, et d'après une extension future de la station comme deuxième phase, à 225 000 habitants (Document de la STEP).

La nature des eaux brute arrivant à la station généralement d'origine domestique, ces rejets viennent vers le réseau d'assainissement de la wilaya de Jijel , les eaux épurées sont déverser dans la mer .

### III.4. Construction et choix d'implantation et de la STEP

La station a été construite par deux entreprise **Wabag** et **Cossider** et l'étude d'implantation dans la région d' Elrabta ( Ramlet Zouwaya) a été faite par le bureau d'étude Hydrotraitement sous l'accord de la direction d'hydraulique de la wilaya de Jijel .

Plusieurs facteurs ont dirigés les responsables de l'étude d'implantation vers ce site, dont les plus importants sont : l'isolement de la station aux habitations pour éviter les problèmes des odeurs, le raccordement adéquat du système d'assainissement et la protection de la côte méditerranéenne (Document de la STEP).

### III.5. Caractéristiques générales de la STEP d' Elrabtata-Jijel

Le tableau (IV.1) ci-dessous présente les Caractéristiques générales de la station d'Elrabta-Jijel, ainsi que la capacité nominale de cette station :

**Tableau III.1** : Caractéristiques générales de la station d' Elrabta-Jijel.

<b>Maître d'ouvrage / Exploitant</b>	Direction d'hydraulique de Jijel / Office national de l'assainissement (ONA)
<b>Constructeur</b>	Entreprise Wabag et Cossider
<b>Année de mise en service</b>	Juin 2008
<b>Capacité nominale</b>	30 000 m <sup>3</sup> /j
<b>Equivalent habitant</b>	150 000 EH
<b>Lieu de rejet</b>	Oued Echaaba

### III.6. Caractéristiques techniques de STEP

La station fonctionne à faible charge massique de l'ordre de 0,07 kg DBO<sub>5</sub> / kg MVS , à faible débit suivant le processus d'une aération prolongée à boue activées, ce processus permet d'obtenir une bonne efficacité d'élimination de la DBO<sub>5</sub> et une stabilisation (minéralisation) des boues.

La STEP a été dimensionnée pour une eau ayant les caractéristiques de base suivantes :

#### III.6.1. Charge hydraulique

Les valeurs nominales de la Charge hydraulique de la STEP d'Elrabta-Jijel pour la phase actuelle, ainsi que pour la phase d'extension sont rapportées dans le tableau (IV.2) ci-dessous :

**Tableau III.2** : Valeurs nominales de la Charge hydraulique de la STEP d'Elrabta-Jijel (Document de la STEP).

Paramètre	Unité	Valeur du paramètre	
		Phase 1	Phase 2
Nombre d'équivalent habitant	EH	150.000	225.000
Débit moyen rejeté	m <sup>3</sup> /j	30.000	45.000
Débit de pointe au temps sec	m <sup>3</sup> /h	1.960	2.940
Débit de pointe au temps de pluie	m <sup>3</sup> /h	3.750	6.251

**III.6.2. Charge polluantes**

Les valeurs nominales de la Charge polluante de la STEP d'Elrabta-Jijel pour la phase actuelle, ainsi que pour la phase d'extension sont rapportées dans le tableau ci-dessous

**Tableau III.3** : Caractéristiques de l'eau brute (*Document de la STEP*).

Paramètre	Unité	Valeur du paramètre	
		Phase 1	Phase 2
Concentration de la DB05	g/m <sup>3</sup>	300	300
Charge massique de DB05	Kg/j	900	13 500
Concentration de la DCO à l'entrée	g/m <sup>3</sup>	600	600
Charge massique de DCO à l'entrée	Kg/j	18 000	27 000
Concentration de NTK à l'entrée	g/m <sup>3</sup>	55	55
Charge massique de NTK	Kg/j	1650	2 475
Charge massique de MES	Kg/j	12 000	15 570

### III.6.3. Qualité de l'effluent a rejeté

La STEP doit respecter certain normes de rejet fixé par l'OMS afin de préserver le milieu récepteur. Ces normes sont reportées dans le tableau suivant :

**Tableau III.4 :** Caractéristiques de l'eau épurée selon les normes de rejet pour la STEP (*Document de la STEP*).

Paramètre	Unité	Concentration
DB05	mg/l	30
DCO	mg/l	60
MES	mg/l	30
PH	–	Compris entre 5,5 et 9

### III.7. Collecte des eaux résiduaires

Elle se fait à travers un seul collecteur qui assure le transport à la fois des eaux domestiques et des eaux pluviales. Ce réseau unitaire est également économique car son dimensionnement est calculé en fonction des eaux pluviales dont le débit est plus important que celui des eaux domestiques. L'inconvénient majeur provient de la variabilité en quantité et en qualité des polluants qui arrive à la station d'épuration (Franck, 2002).

Le réseau d'assainissement de la ville de Jijel est à 92% unitaire et à 8% séparatif. Le linéaire total du réseau est de 113 Km. Le bassin versant est caractérisé par huit sous bassins dont la moitié se déverse au milieu naturel.

On dénombre 56 rejets directs, essentiellement concentrés sur l'Oued Mautas. Le volume d'eau rejeté directement dans le milieu naturel est estimé à 3 000 m<sup>3</sup>/j (SCE, 2009), par contre Le volume journalier arrivant à la STEP est de l'ordre de 9 400 m<sup>3</sup>/j

### III.8. Procédé d'épuration

Les eaux usées arrivent à la station par gravité ou par pompage, elles passent par les différentes étapes de traitements (prétraitement, traitement biologique, traitement des boues).

### III.9. Discussion des résultats

Pour tout projet de valorisation des sous produits de l'épuration en agriculture, des analyses physico-chimiques doivent être opérées sur les eaux épurées et les boues afin d'évaluer leurs qualités et leurs niveaux de réponse aux exigences et directives établies dans le cadre de l'irrigation et l'épandage agricole .Dans ce contexte, nous avons choisi une période d'étude allant du mois de Novembre 2008 à Août 2009.

Pour ce faire des analyses sont effectuées sur les différents échantillons au niveau du laboratoire central de l'ONA et celui de la STEP d'Elrabta-Jijel, afin d'interpréter et de comparer les résultats à quelques recommandations et normes existantes.

### III.9.1. File eau

#### III.9.1.1. Paramètres physico-chimiques

Les différents paramètres physico-chimiques des eaux épurées de la STEP d'Elrabta-Jijel sont représentées dans le tableau ( III.6) ci-dessus, ainsi que leurs comparaison avec les normes fixées par la FAO (85) et L'OMS (89)

**Tableau III.5** : Paramètres physico-chimiques des eaux épurées de la STEP d'Elrabta-Jijel

Paramètres	Valeurs minimales	Valeurs moyennes	Valeurs maximales	Normes FAO (85)	Normes OMS ( 89)
Température (C°)	12,96	18,71	26,88	-	30
pH	7,15	7,57	7,88	6,5-8,4	-
Conductivité (µs/cm)	939,89	1 131,75	1 290,21	-	2700
MES (mg/l)	3,00	4,61	8,60	-	20
DCO (mg/l)	56,20	69,71	80,23	-	90
DBO5 (mg/l)	3,48	4,63	5,94	-	30
NH4 <sup>+</sup> (mg/l)	0,23	0,79	2,37	0,2 - 10	5
N03 <sup>-</sup> (mg/l)	9,35	13,79	20,66	1 - 5	10
PT (mg/l)	3,73	4,69	6,06	2	2

D'après ce tableaux tout les paramètres physico-chimiques sont inférieurs aux normes fixées par le FAO (85) , ainsi que les normes fixées par l'OMS (89) à l'exception du nitrate (13,79 mg/l) et du phosphore (4,69) qui présente pour l'eau épurée un degré de restriction à l'usage agricole léger à modérer.

#### III.9.1.2. La salinité

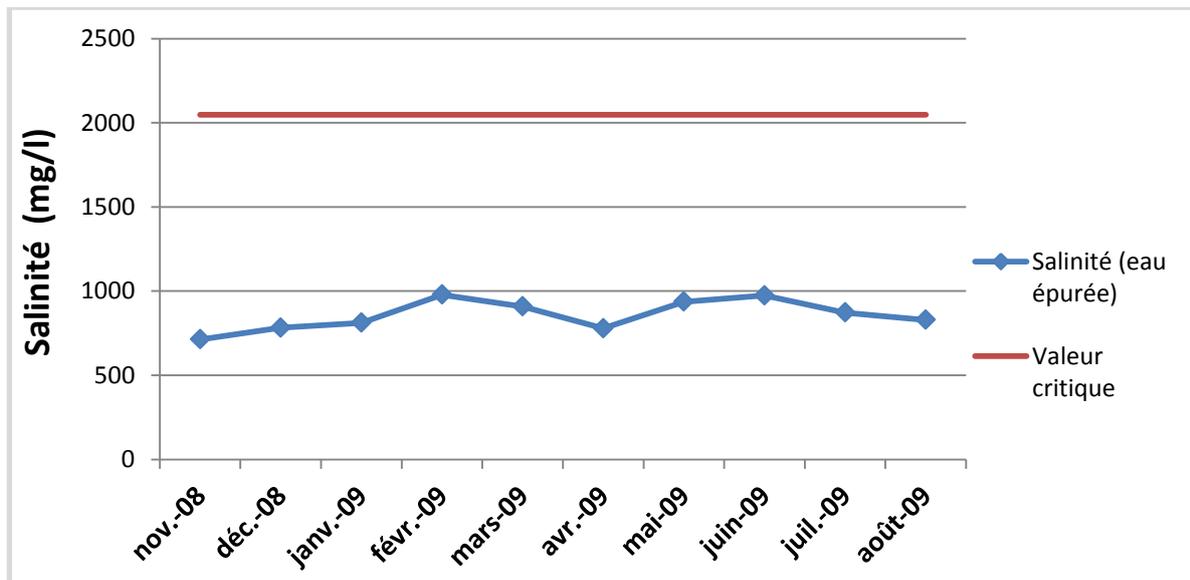
Il existe une relation entre la teneur en sels dissous de l'eau et sa conductivité électrique La salinité est donnée à partir de la conductivité électrique par le tableau suivant :

**Tableau III.6 :** Calcul de la minéralisation (salinité) à partir de la conductivité

Conductivité ( $\mu\text{S/cm}$ )	Minéralisation (mg/l)
conductivité $< 50 \mu\text{S/cm}$	$1,365079 \times \text{conductivité}$
conductivité $[50 \text{ à } 166] \mu\text{S/cm}$	$0,947658 \times \text{conductivité}$
conductivité $[166 - 333] \mu\text{S/cm}$	$0,769574 \times \text{conductivité}$
conductivité $[333 - 833] \mu\text{S/cm}$	$0,715920 \times \text{conductivité}$
conductivité $[833 - 10000] \mu\text{S/cm}$	$0,758544 \times \text{conductivité}$
conductivité $> 10000 \mu\text{S/cm}$	$0,850432 \times \text{conductivité}$

Source : Rodier ,2009

la conductivité de notre eau épurée est comprise entre  $[833 - 10000] \mu\text{S/cm}$ , d'où une salinité qui correspond à ( $0,758544 \times \text{conductivité}$ ).



**Figure III.1.** Représentation graphique de l'évolution de la salinité des eaux épurées de la STEP d'Elrabta-Jijel (Novembre 2008 à Août 2009)

Les valeurs de la salinité enregistrées à la sortie de la STEP varient entre 713 mg/l et 979 mg/l avec une moyenne de 858 mg/l.

L'évolution de la salinité est semblable à celle de la conductivité. Ces résultats confirment que ces eaux épurées ont une salinité relativement élevée, donc elles ne devraient pas être utilisées dans les sols où le drainage est faible. De plus, ce type d'eau ne doit pas servir à irriguer les plantes sensibles aux sels même sur les sols ayant un bon drainage [4].

### III.9.1.3. Le SAR

L'interprétation des résultats du sodium ne peut se faire sur la teneur du sodium seul, malgré ses effets indésirables sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et sur le comportement des cultures. Ces effets sont tributaires de la présence/absence d'autres éléments. Les ions comme le calcium et le magnésium, dans les proportions rencontrées naturellement dans les sols, maintiennent la structure de ceux-ci. Lorsque ces sols sont soumis à l'irrigation avec des eaux riches en  $\text{Na}^+$  échangeable, ce dernier entraîne une destruction du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol. L'eau d'irrigation stagne alors à la surface de celui-ci, et ne parvient plus jusqu'aux racines.

Le SAR (coefficient d'adsorption de sodium  $\text{SAR} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2]^{1/2}$  ou capacité d'absorption du sodium) permet d'appréhender les risques de salinisation en sel Na Cl induit par l'irrigation.

**Tableau III.7 :** Les espèces ioniques du SAR mesurées

<b>Elément mesuré</b>	<b>(mg/l)</b>	<b>(meq/l)</b>
<b>Na<sup>+</sup></b>	80	3,48
<b>Mg<sup>++</sup></b>	27	2,22
<b>Ca<sup>++</sup></b>	92	4,59
<b>SAR</b>		1,88

Comme la Conductivité électrique mesurée des eaux épurées de la STEP est d'une moyenne de 1132  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , alors la CE > 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et Le SAR est donc compris entre 0 et 3 ; ces valeurs confèrent à l'eau, d'après les recommandations de la FAO (1985), une qualité d'irrigation sans aucune restriction d'utilisation.

D'après le diagramme de la classification des eaux d'irrigation sur l'échelle de Riverside (Figure V.6), les eaux épurées de La STEP d'Elrabta Jijel sont du type C3 S1.

Les eaux d'irrigation du type C3S1 sont considérées comme fortement minéralisées et peuvent convenir à l'irrigation de certaines espèces tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés (FAO, 2003).

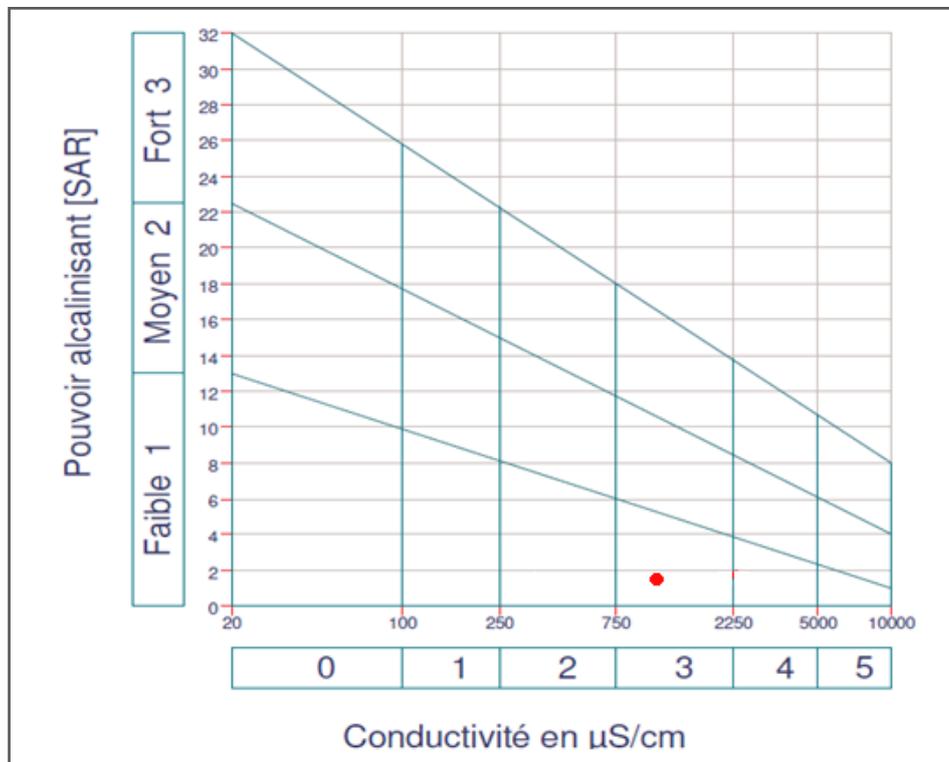


Figure III.2 : Diagramme de Richards (Riverside)

#### III.9.1.4. Le potassium

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 (FAO, 2003).

Et d'après Faby et Brissaud, (1997), la concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg/l et permet donc de répondre partiellement aux besoins des plantes [12].

Dans notre cas, la concentration en potassium des eaux épurées est de 11,3 mg/l, une valeur considérée normale et sans aucun effet nocif ou inhibiteur quant à l'utilisation de ces eaux en irrigation.

#### III.9.1.5. Les éléments traces métalliques (ETM)

Les eaux épurées de la STEP de Jijel, une fois analysées au niveau de laboratoire de département biologie de l'université de Jijel, nous ont donné les résultats suivants :

**Tableau III.8 :** Résultats d'analyse des ETM dans l'eau épurée de la STEP d'Elrabta-Jijel

Eléments	Concentration (mg/l)	Limite d'utilisation à long terme (mg/l)	Limite d'utilisation à court terme (mg/l)
plomb (Pb)	0,27	5	10
Zinc ( Zn)	0,20	2	10
Manganèse (Mn)	0,16	0,2	10
Chrome (Cr)	0,15	0,1	1
Cuivre (Cu)	0,02	0,2	5
Fer (Fe)	0,09	5	20
Cadmium (Cd)	0,02	0,01	0,05

Source : FAO 2003

Le tableau ci-dessus montre que la plupart des concentrations moyennes en éléments traces métalliques sont très faible, à l'exception du chrome (Cr) et du Cadmium (Cd) qui dépassent légèrement les limite recommandées par le FAO 2003 pour l'utilisation de ces eaux épurées en irrigation à long terme.

### III.9.1.6. Composition microbiologique des eaux épurées

Les résultats des analyses bactériologiques des eaux épurés de la STEP d'Elrabta-Jijel révèlent l'existence des germes indicateurs de contamination fécale.

En effet, la charge moyenne en coliformes fécaux et en streptocoques fécaux des eaux épurées est 1400 UFC/100ml.

**Tableau III.9 :** Résultats d'analyse bactériologique des eaux épurées

Paramètres	Résultats (UFC/100ml)	Normes OMS (UFC/100ml)
Coliforme Totaux (CT)	1400	/
Coliforme Fécaux (CF)	1400	≤ 1000
Streptocoques Fécaux (SF)	1400	/

L'analyse des résultats bactériologiques montre des concentrations assez élevées en Coliforme Fécaux dépassants la norme retenue par l'OMS pour les eaux d'irrigation qui est ≤1000 UFC/100ml.

Compte tenu des résultats bactériologiques obtenus, la qualité sanitaire des eaux épurées de la STEP d'Elrabta-Jijel est loin d'être acceptable pour l'irrigation non limitée en général. Le procédé actuel de l'épuration ne permet pas d'éliminer la pollution bactérienne, une étape de

traitement tertiaire (désinfection) est impérative. Il est à signaler que la chloration au niveau de la STEP est suspendue.

### III.9.1.7. Quantités de fertilisants apportés par les eaux épurées

Les nutriments qui se trouvent dans l'eau épurée constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture et en gestion des paysages (Hamoda, 2004) [13].

Les éléments les plus fréquents dans ces eaux sont l'azote, le phosphore, le potassium... Ces éléments se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables.

#### ❖ *Quantités de fertilisants apportés par une lame d'eau épurée de 100mm*

Le tableau V.7 ci-dessous présente les quantités de fertilisants apportés par une lame d'eau épurée de 100mm à l'hectare, soit un volume d'eau usée traitée et réutilisée de 1000 m<sup>3</sup>. Ces valeurs enregistrées sont comparées à celles proposées par Faby et al. (1997) [12].

**Tableau III.10:** Quantités (en kg) de fertilisants apportés par une lame d'eau épurée de 100mm à l'hectare (1000 m<sup>3</sup>/ha).

Fertilisants (kg)	Azote (NO <sub>3</sub> )	Azote (NH <sub>4</sub> )	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
STEP d'Elrabta	13,8	0,8	13,6	10,7	128,7	44,8	107,8
Faby & al (1997). [12]	16-62 kg		2-69 kg	2-24 kg	18-208 kg	9-100 kg	27-182 kg

#### ❖ *Les apports de fertilisants pour une irrigation de 5000 m<sup>3</sup>/ha/an*

Nous pouvons adopter la dose d'irrigation de 5000 m<sup>3</sup>/ha/an sur la base d'une estimation des besoins en eau des cultures pratiquées dans le périmètre en tenant compte de la demande climatique.

Les agrumes et les arbres fruitiers cultivés dans la Wilaya de Jijel ont des besoins théoriques en eau variant de 4 500 à 5500 m<sup>3</sup>/ha/an selon que l'année est humide ou sèche. Les cultures maraîchères, quant à elles, sont représentées essentiellement par le poivron, le piment, les aubergines, le fenouil et la salade ; leurs besoins théoriques en eau se situent entre 3 500 m<sup>3</sup>/ha/an (année humide) et 4 500 m<sup>3</sup>/ha/an (année sèche). (Ammar Boudjellal et Bammoun, 2006) [14]

Les apports de fertilisants pour une irrigation de 5000 m<sup>3</sup>/ha/an sont reportés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.11** .Quantités (en kg) de fertilisants apportés par une irrigation de 5000 m<sup>3</sup>/ha/an.

Fertilisants (kg)	Azote (NO <sub>3</sub> )	Azote (NH <sub>4</sub> )	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
STEP Jijel-Rabta	69	4	68,1	53,7	643,54	223,8	539,2

❖ *Les exigences théoriques de chaque type de cultures en fertilisants*

Les exigences théoriques de chaque type de cultures en fertilisants (kg/ha) sont reportées dans le tableau ci-dessous [15] :

**Tableau III.12** : exigences théoriques de chaque types de culture en fertilisants

Types des cultures	Agrumes	Arboriculture	Maraîchères
<b>Azote</b> (kg/ha)	250 à 300	130 à 200	20 à 320
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> (kg/ha)	100 à 120	120 à 180	70 à 120
<b>K<sub>2</sub>O</b> (kg/ha)	100 à 160	100 à 160	50 à 320,

Source: Fercial, (2011)

D'après ce tableau, on constate que Les agrumes sont les plus exigeantes en éléments fertilisants. L'apport d'azote est recommandé à une dose de 250 à 300 kg/ha.

❖ *Surfaces potentiellement irrigables et apports totales*

L'exemple suivant montre bien comment une gestion intégrée des ressources en eau en y incluant le volet recyclage, peut être bénéfique économiquement, socialement et sur le plan environnemental.

**Tableau III.13** : Surfaces potentiellement irrigables par les effluents traités de la station d'Elrabta-Jijel

	Volume (eaux épurées) m <sup>3</sup> /j	Volume (eaux épurées) m <sup>3</sup> /an	Surfaces irriguées d'après (Pescod, 1992) [16] (ha)
Elrabta-Jijel	10 000	3 650 000	730

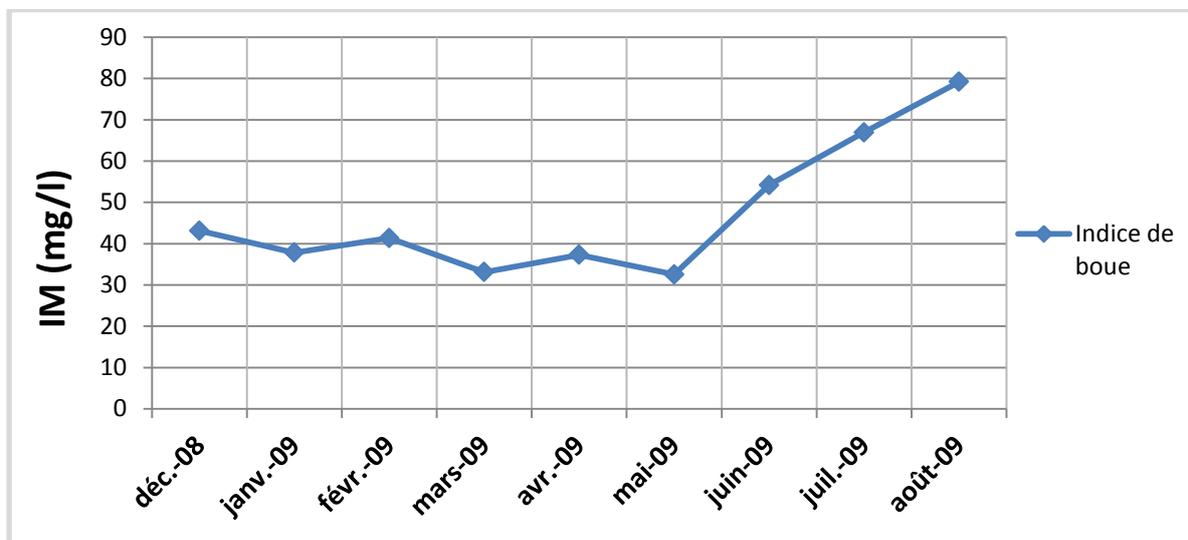
Ces eaux épurées permettent d'irriguer au total environ 730 ha à raison de 5000 m<sup>3</sup>/ha par an. (Pescod, 1992) [16] .

Les eaux épurées de la station d'Elrabta- Jijel enrichissent le sol par des apports moyens annuels de 73 kg/ha d'azote, de 53,7 kg/ha de phosphate et 68,1 kg/ha de potasse, ces concentrations sont satisfaisantes pour les cultures maraîchères selon le tableau

Elles apportent donc des quantités non négligeables en azote. L'apport en phosphore et en potassium peut même couvrir la totalité des besoins de ces cultures dans certains cas, se traduisant par une meilleure productivité et des gains économiques conséquents.

### III.9.2. Fille boues

#### III.9.2.1. L'indice de Mohlman (IM)

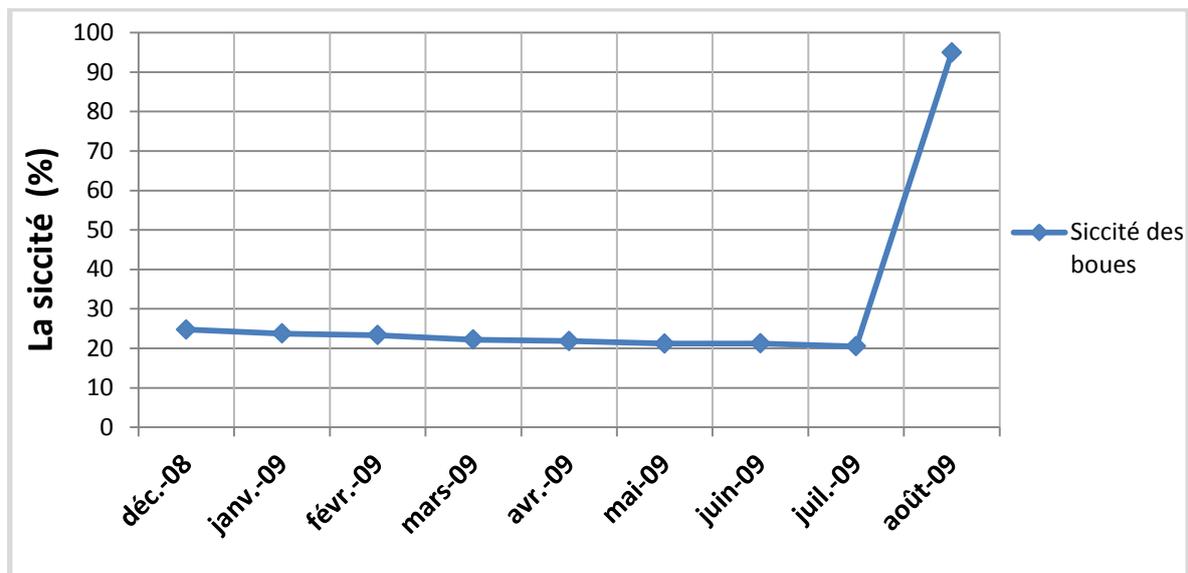


**Figure III.3 :** Représentation graphique de la variation mensuelle de l'indice de Boue pour la STEP d'Elrabta- Jijel (décembre 2008 à Août 2009)

L'indice de Mohlman (IM), appelé aussi indice de Boue (IB), permet d'une part de traduire la bonne ou la mauvaise disponibilité des boues à la décantation, et d'autre part de fixer un taux des MES à maintenir dans le bassin d'aération.

D'après le graphique, la valeur de IB varie de 32,53 à 79,18 ml/g , donnant une moyenne de 47,28 ml/g, ce qui reflète une modeste disponibilité de la boue à la décantation Les valeurs de cet indice restent <100 ml/g qui est l'intervalle idéal : les boues sédimentent facilement et sont le plus souvent bien minéralisées (MVS < 65 %) [17].

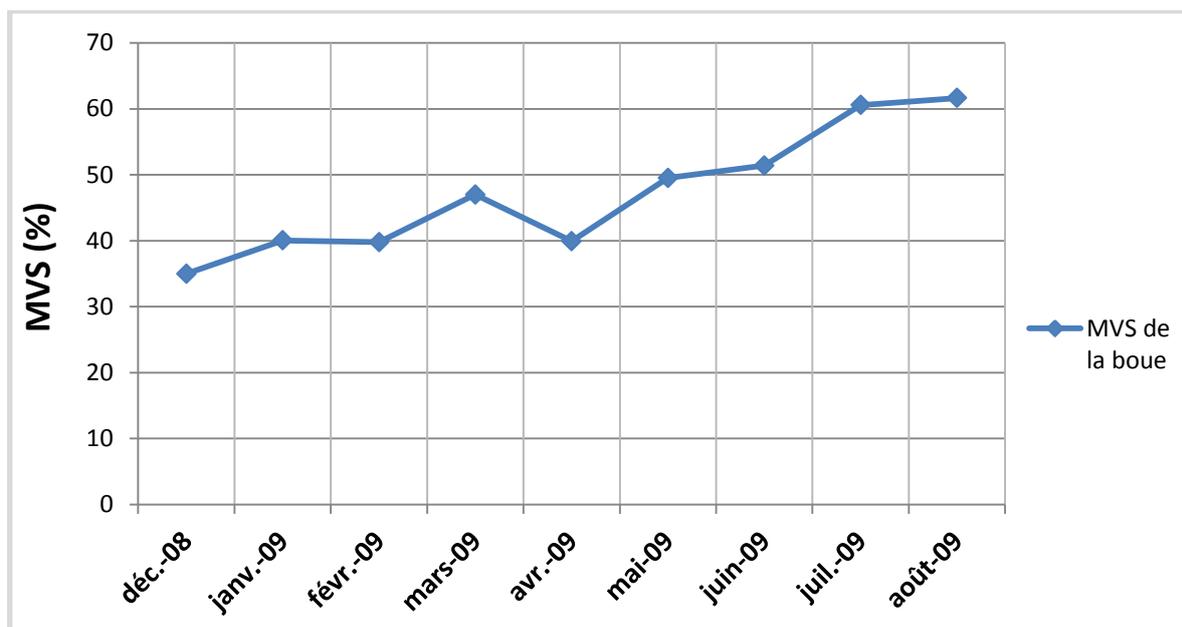
### III.9.2.2. La siccité des boues



*Figure III.4 : Représentation graphique de la variation mensuelle de la siccité des Boues pour la STEP d'Elrabta- Jijel (décembre 2008 à Août 2009)*

La matière sèche est ce qui reste lorsque l'on enlève toute l'eau contenue dans les boues. La matière sèche renferme les éléments nutritifs des boues, valorisables en agriculture. La teneur des boues en éléments nutritifs est donc fonction de leur teneur en matière sèche. Pendant la période, décembre 2008 jusqu'à juillet 2009, les échantillons de boue ont été prélevés à partir du poste de déshydratation mécanique, les mesures au laboratoire ont donné une siccité oscillant entre 20,49 % et 24,73 %, d'où une valeur moyenne de 22,35%, Ce qui révèle le caractère pâteux des boues dans cette période. Cependant, les échantillons de boue du mois d'Août ont été prélevés à partir du lit séchage, la siccité atteint un pourcentage important (95 %), ce qui explique le caractère granulat de ces boues pendant ce mois.

### III.9.2.3. La Matière organique



**Figure III.5:** Représentation graphique de la variation mensuelle de MVS des Boues pour la STEP d'Elrabta- Jijel (décembre 2008 à Août 2009)

La matière organique contenue dans la boue donne une bonne structure et une meilleure aération au sol, il est moins compact car la matière organique combat l'érosion de celui-ci. Cette matière organique est également essentielle aux micro-organismes vivants dans le sol car elle leur sert de nourriture pour leurs besoins énergétiques et pour la formation de nouvelles cellules, qui peuvent ensuite libérer les éléments nutritifs après minéralisation, qui seront donc disponibles et assimilables par les plantes.

D'après le graphique, la quantité de matière organique mesurée dans boue de la STEP d' Elrabta-Jijel représente un pourcentage moyen de 47 % de la matière sèche, elle est alors considérée comme un amendement organique, plus qu'un fertilisant.

### III.9.2.4. Le rapport C/N

Le rapport C/N de la boue d'épuration permet d'apprécier qualitativement la capacité de minéralisation de l'azote organique contenu dans la boue. Plus ce rapport est élevé, plus la minéralisation de l'azote est lente. Ça s'explique par le fait que le carbone est utilisé par les microorganismes (biomasse) comme source d'énergie et qui est converti en CO<sub>2</sub>, alors que l'azote s'intègre essentiellement dans les tissus microbiens.

D'après les résultats d'analyse, la boue de la STEP d'Elrabta-Jijel renferme 22,53 % de carbone organique et 3,60 % d'azote (NTK) dans la matière sèche, donnant un rapport C/N= 6.25.

Ce ration de 6,25 est dû à la minéralisation élevée de la matière organique. Cette valeur nous indique une disponibilité importante de l'azote, qui est rapidement minéralisé et peut subir un lessivage.

Afin d'éviter son lessivage, la boue doit être épandue pendant la période de croissance des plantes, l'azote est donc assimilé, et sa perte par volatilisation et percolation sera réduite.

Cette boue constitue une source de matière organique intéressante, Nous recommandons le mélange de ces boues au compost urbain, riche en cellulose et en lignine afin d'aboutir à un amendement organique humifiable (Humus).

De même le rapport C/N du mélange sera plus élevé, s'opposant ainsi aux pertes par percolation.

#### **III.9.2.5. Le calcium**

Les boues de la STEP de Elrabta-Jijel contiennent des concentrations non négligeables en Calcium (24 g/kg). le calcium est surtout destiné à améliorer la structure du sol, il contribue à flocculer les argiles et les complexes argilo-humique, renforçant ainsi la stabilité structural du sol. Il est donc plutôt apporté sous forme d'amendement calcique.

#### **III.9.2.6. Les éléments traces métalliques (ETM)**

La présence des métaux lourds dans les boues est inquiétante. D'après la classification de (Baumont et al , 2004) certains métaux lourds sont des oligoéléments intéressants et essentiels à la croissance des plantes et leur présence dans les boues est bénéfique. Ce sont le manganèse (Mn), le fer (Fe), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn). Cependant ils ne doivent pas dépasser certaines concentrations car alors ils deviennent toxiques.

Dans cette même classification, on trouve d'autres métaux qui sont tout à fait inutiles dans le métabolisme des plantes par exemple le plomb (Pb), le nickel (Ni), le cadmium (Cd), le mercure (Hg) et le chrome (Cr). Ce sont justement ces métaux qui commandent la prudence pour la valorisation des boues.

Le fait le plus inquiétant est le passage des métaux lourds dans la chaîne alimentaire. Du point de vue agricole, c'est très important car on consomme directement les plantes qui auraient été fertilisées avec les boues résiduares ou on les consomme indirectement via les animaux qui ont pâture sur les champs fertilisés.

Les boues d'épuration de la STEP d'Elrabta-Jijel, une fois analysées, nous ont donné les résultats suivants :

**Tableau III.14** : Résultats d'analyse des ETM dans la boue de la STEP d'Elrabta-Jijel

Elément trace métallique	Unités	Année d'analyse			Valeurs limites réglementaires (Norme NFU 44-041)
		2009	2011	2012	
Cadmium (Cd)	(mg/kg de MS)	< 6	1,5	0,77	20
Cobalt (Co)		< 40	/	/	
Manganèse (Mn)		360	/	/	
Zinc (Zn)		526	728	609,23	3000
Chrome (Cr)		110	42,86	39,33	1000
Cuivre (Cu)		110	144	105,67	1000
Nickel (Ni)		< 40	30,9	20,07	200
Plomb (Pb)		79	/	/	800
Fer (Fe)	(g/kg de MS)	12	/	/	
Calcium (Ca)		24	/	/	
Aluminium (Al)		33.5	/	/	
Mercure (Hg)	(µg/kg de MS)	161	/	/	10000

*SOURCE* : laboratoire central de l'ONA

Les résultats consignés dans le tableau V.11 ci-dessous montrent que les teneurs en éléments traces métalliques dans la boue sont suffisamment faible et ne constituent donc pas un facteur limitant son utilisation en agriculture

### III.10. Conclusion

Nous avons tenté, à travers ce travail, de montrer que la modernisation de l'agriculture peut se raisonner aussi en termes de réutilisation des sous produits d'épuration. Nos travaux ont apporté des précisions analytiques sur la nature des eaux épurées et des boues de la station d'épuration de la ville de Jijel

L'utilisation des sous produits d'épuration dans l'irrigation des cultures et l'épandage agricole contribue à augmenter les réserves d'eau destinées à l'agriculture permettant ainsi d'augmenter le rendement des cultures. Les analyses physico-chimiques des eaux épurées et des boues révèlent une conformité de la majorité des paramètres physico-chimiques aux normes de réutilisation de ces eaux en irrigation, ainsi que les boues en épandage agricole.

## **Conclusion générale et perspectives**

La mise en œuvre de tout projet de valorisation des sous produits de l'épuration en agriculture, notamment les eaux et les boues, requiert la mesure de certains paramètres et le suivi de leurs évolutions.

La présente étude montre d'une part comment la réutilisation des eaux usées d'un centre urbain permet la mise en valeur agricole d'une superficie importante (730 ha), ainsi elle permet à l'agriculture de disposer en plus de l'eau, des fertilisants contenus dans les eaux épurées, particulièrement l'azote, le phosphore et le potassium (NPK) qui améliorent les rendements des cultures.

D'autre part l'utilisation des boues de la STEP sur le sol serait très avantageuse car elle permet non seulement d'apporter des quantités non négligeables de matières organiques (47%) et minérales (Ca, Fe, N, P, ..... ) au sol mais également de préserver la fragilité écologique des sols et la reconstitution du complexe argilo-humique indispensable à la fertilité du sol.

Cette étude montre que la réutilisation des eaux usées et l'épandage agricole permet une amélioration considérable des rendements des cultures sans pour autant augmenter les coûts de production.

**Annexe I : Les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation- paramètres biologiques (Source : MRE)**

Groupes De cultures	Paramètres microbiologiques	
	Coliformes Fécaux (CFU /100 ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs / l) (moyenne arithmétique)
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Irrigation non restrictive</li> <li>❖ Culture des produits pouvant être consommés crus</li> </ul>	< 100	Absence
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Légumes qui ne sont pas consommés que cuits</li> <li>❖ Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire</li> </ul>	< 250	< 0,1
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Arbres fruitiers <sup>(1)</sup></li> <li>❖ Cultures et arbustes fourragers <sup>(2)</sup></li> <li>❖ Cultures céréalières</li> <li>❖ Cultures industrielles <sup>(3)</sup></li> <li>❖ Arbres Forestiers</li> <li>❖ Plantes florales et ornementales<sup>(4)</sup></li> </ul>	Seuil recommandé < 1000	< 1
Les cultures du groupe précédent (CFU / 100 ml) utilisant l'irrigation localisée <sup>(5) (6)</sup>	Pas de norme recommandée	Pas de norme recommandée

<sup>(1)</sup> L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.

<sup>(2)</sup> Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

<sup>(3)</sup> Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

<sup>(4)</sup> Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

<sup>(5)</sup> Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

<sup>(6)</sup> A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrise la gestion de l'irrigation localisée.

**Annexe II :** Les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation-  
paramètres physico-chimiques (Source : MRE)

	Paramètres	Concentration maximale admissible
Physiques	pH	[6.5 ; 8.5]
	MES	30 mg/l
	CE	3 ds/m
	Infiltration le SAR= 0-3 CE	0.2 ds/m
	3-6	0.3 ds/m
	6-12	0.5 ds/m
	12-20	1.3 ds/m
	20-40	
Chimiques	DBO5	30 mg/l
	DCO	90 mg/l
	Chlorure (Cl)	10 meq/l
	Azote (NO3-N)	30 mg/l
	Bicarbonate (HCO3)	8.5 meq/l
Eléments Toxiques	Aluminium	20
	Arsenic	2
	Béryllium	0.5
	Bore	2
	Cadmium	0.05
	Chrome	1
	Cobalt	5
	Cuivre	5
	Cyanures	0.5
	Fluor	15
	Fer	20
	Phénols	0.002
	Plomb	10
	Lithium	2.5
	Manganèse	10
	Mercure	0.01
	Molybdène	0.05
	Nickel	2
	Sélénium	0.02
	Vanadium	1
Zinc	10	

(\*) Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.

**Références bibliographiques**

- [1] Hartani, T., (2004). "La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie". Institut national agronomique, Alger, Algérie, Projet INCO-WADEMED Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée Rabat.
- [2] Fourmeau, D., (2002). "Traitement et réutilisation des eaux usées en France, contexte et perspectives", 133 pages.
- [3] Ecosse, D., (2002). "Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde Qualité et Gestion de l'Eau". Mémoire D.E.S.S, Fac, Sciences, Amiens, 62 pages.
- [4] Couture, I. (2003) "analyse d'eau pour fin d'irrigation" MAPAQ MONTEREGIE-EST. 10 pages.
- [5] Puil., C., (1998). "La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration". Mémoire D.U.E.S.S, Eau et Environnement université Picardie, 104 pages
- [6] MRE., (2003). "Synthese sur la situation de l'assainissement et evaluation des besoins en station de traitement et d'épuration en vue de proteger les ressources en eau". Seminaire sur le secteur de l'eau en Algerie, MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU, Alger, Algerie, 11 pages.
- [7] Baghdali, L., (2007). "La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation". Seminaire à Rabat.
- [8] Amir, S., (2005). "Contribution à la valorisation de boues de station d'épuration par compostage, devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost". Thèse de Doctorat TOULOUSE institut national polytechnique de Toulouse, 60 pages
- [9] Karef, S., (2011). "Etude des indicateurs de performance de la station de Médéa et des possibilités de valorisation des sous-produits d'épuration dans l'agriculture". Thèse de magistère université de Djelfa, 109 pages.
- [10] Nakib, M., (1986). "Contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux et des boues d'épuration dans l'agriculture : cas des effluents urbains et de laitières".
- [11] Qanier, D., (2006). "Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de : Mastère spécialisé eau potable et assainissement". Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg, 99 pages.

- [12] Faby, J.A. & Brisaud, F., (1997).'' L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'eau''. Article, 67 pages.
- [13] Hamoda M.F., (2004).'' Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries''. Desalination, 165 pages.
- [14] Ammar, B.A. & Bammoun, R., ( 2006).'' Détermination des besoins en eau des cultures irriguées de la wilaya de Tipaza à l'aide du logiciel Cropwat 4.3.Cas de périmètre de la Mitidja ouest, mémoire d'ingénieur''. Institut national agronomique, Alger, 98pages.
- [15] Fercial., (2011).''Les fertilisants en Algerie, Manuel d'utilisation des engrais .Laboratoire agronomique, analyses ; terre- eau- foliaires''. Route des Salines ANNABA, Algérie.
- [16] Pescod, M.B., (1992). ''Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage''. Paper 47, Rome, FAO,125 pages.
- [17] Canler, J.P., (1999).'' Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration ; origines et solutions''. FNDAE n°33, 101 pages.